



(51) 国際特許分類 H01L 21/027, G03F 7/20	A1	(11) 国際公開番号 WO98/24115  (43) 国際公開日 1998年6月4日(04.06.98)
---------------------------------------	----	--

(21) 国際出願番号 PCT/JP97/04350

(22) 国際出願日 1997年11月28日(28.11.97)

(30) 優先権データ

特願平8/332843	1996年11月28日(28.11.96)	JP
特願平8/332845	1996年11月28日(28.11.96)	JP
特願平8/332844	1996年11月28日(28.11.96)	JP
特願平8/332846	1996年11月28日(28.11.96)	JP
特願平8/332847	1996年11月28日(28.11.96)	JP

(71) 出願人 (米国を除くすべての指定国について)  
株式会社 ニコン(NIKON CORPORATION)[JP/JP]  
〒100 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 Tokyo, (JP)

(72) 発明者; および

(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ)

西 健爾(NISHI, Kenji)[JP/JP]  
太田和哉(OTA, Kazuya)[JP/JP]  
〒100 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号  
株式会社 ニコン内 Tokyo, (JP)

(74) 代理人

弁理士 川北喜十郎, 外(KAWAKITA, Kijuro et al.)  
〒160 東京都新宿区新宿五丁目1番15号 新宿MMビル  
Tokyo, (JP)

(81) 指定国 AL, AU, BA, BB, BG, BR, CA, CN, CU, CZ, EE, GE, GH, HU, ID, IL, IS, KR, LC, LK, LR, LT, LV, MG, MK, MN, MX, NO, NZ, PL, RO, SG, SI, SK, SL, TR, TT, UA, US, UZ, VN, YU, ZW, ARIPO特許 (GH, KE, LS, MW, SD, SZ, UG, ZW), ユーラシア特許 (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), 欧州特許 (AT, BE, CH, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE), OAPI特許 (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類

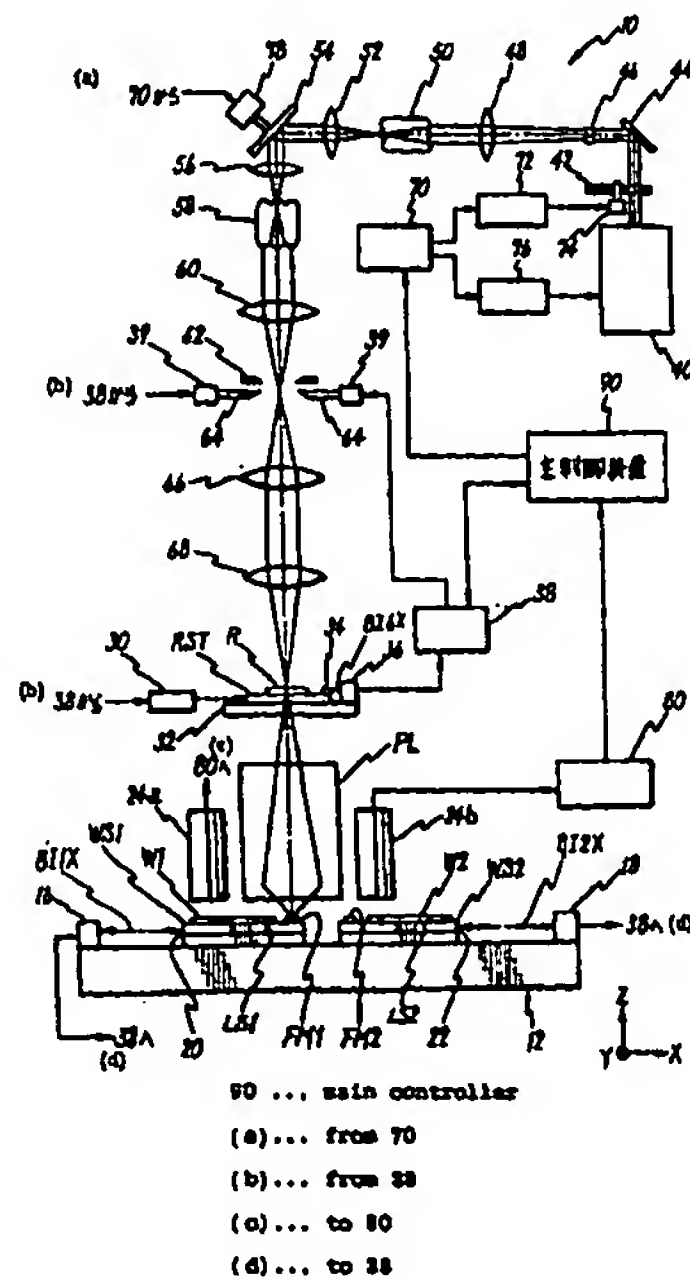
国際調査報告書

(54)Title: ALIGNER AND METHOD FOR EXPOSURE

(54)発明の名称 露光装置及び露光方法

(57) Abstract

Two stages (WS1, WS2), each of which supports a wafer, can individually move between a position information measuring section (PIS) below an alignment system (24a) and an exposure section (EPS) below a projection optical system (PL). While a wafer is replaced and aligned on the stage (WS1), a wafer (W2) is exposed on the stage (WS2). The position of a wafer (W1) in each shot region on the stage (WS1) is found, by the section (PIS), as a relative position to a reference mark formed on the stage (WS1). The information about the relative position is used for alignment in relation to an alignment pattern, when the stage (WS1) moves to the section (EPS) and the wafer (W1) is exposed. Therefore, the position of the stage need not be monitored continuously during movement. By parallel processing of exposures using the two wafer stages (WS1, WS2), a throughput can be increased.



(57) 要約

ウエハを保持する2つのステージWS1、WS2がアライメント系24aの下で位置情報計測セクションPISと投影光学系PLの下で露光セクションEPSとの間を独立して移動することができる。ステージWS1上でウエハ交換及び位置合わせが行なわれている間に、ステージWS2上でウエハW2が露光される。ウエハWS1の各ショット領域の位置はセクションPISにてステージWS1上に形成された基準マークに対する相対位置として求められる。相対位置情報はウエハWS1がセクションEPSに移動して露光される時に、露光パターンに対する位置合わせに用いられるため、ステージ移動の際にステージ位置を連続的に監視する必要がない。露光動作を2つのウエハステージWS1、WS2を使って並行処理してスループットを向上することができる。

PCTに基づいて公開される国際出願のパンフレット第一頁に掲載されたPCT加盟国を同定するために使用されるコード（参考情報）

AL	アルバニア	FI	フィンランド	LT	リトアニア	SN	セネガル
AM	アルメニア	FR	フランス	LU	ルクセンブルグ	SZ	スワジランド
AT	オーストリア	GA	ガボン	LV	ラトヴィア	TD	チャード
AU	オーストラリア	GB	英国	MC	モナコ	TG	トーゴ
AZ	アゼルバイジャン	GE	グルジア	MD	モルドヴァ	TJ	タジキスタン
BA	ボスニア・ヘルツェゴビナ	GH	ガーナ	MG	マダガスカル	TM	トルクメニスタン
BB	バルバドス	GM	ガンビア	MK	マケドニア旧ユーゴスラヴィア共和国	TR	トルコ
BE	ベルギー	GN	ギニア	ML	マリ	TT	トリニダード・トバゴ
BF	ブルキナ・ファソ	GW	ギニア・ビサウ	MN	モンゴル	UA	ウクライナ
BG	ブルガリア	GR	ギリシャ	MR	モーリタニア	UG	ウガンダ
BJ	ベナン	GU	グアム	MW	マラウイ	US	米国
BR	ブラジル	IE	アイルランド	MX	メキシコ	UZ	ウズベキスタン
BY	ベラルーシ	IL	イスラエル	NE	ニジェール	VN	ヴェトナム
CA	カナダ	IS	アイスランド	NL	オランダ	YU	ユーゴスラヴィア
CF	中央アフリカ	IT	イタリア	NO	ノルウェー	ZW	ジンバブエ
CG	コンゴ共和国	JP	日本	NZ	ニュージーランド		
CH	スイス	KE	ケニア	PL	ポーランド		
CI	コートジボアール	KG	キルギス	PT	ポルトガル		
CM	カメルーン	KP	北朝鮮	RO	ルーマニア		
CN	中国	KR	韓国	RU	ロシア		
CU	キューバ	KZ	カザフスタン	SD	スーダン		
CY	キプロス	LC	セント・ルシア	SE	スウェーデン		
CZ	チェコ	LI	リヒテンシュタイン	SG	シンガポール		
DE	ドイツ	LK	スリランカ	SI	スロヴェニア		
DK	デンマーク	LR	リベリア	SK	スロヴァキア		
EE	エストニア	LS	レソト	SL	シエラ・レオネ		
ES	スペイン						

## 明 細 書

## 露光装置及び露光方法

## 技術分野

本発明は、光、電子線その他の荷電粒子線で感応基板を暴露するための暴露装置に関し、更に詳しくは、半導体素子や液晶表示素子をリソグラフィ工程で製造されるために用いられるマスクに形成されたパターンの像を投影光学系を介して感応基板上に投影露光するための露光装置及び露光方法に関するものであり、特に、2つの基板ステージを用いて2枚の基板が露光とアライメントを並行して行うのに好適な露光装置及び露光方法に関する。

## 背景技術

従来より、半導体素子又は液晶表示素子等をフォトリソグラフィ工程で製造する場合に、種々の露光装置が使用されているが、現在では、フォトマスク又はレチクル（以下、「レチクル」と総称する）のパターン像を、投影光学系を介して表面にフォトレジスト等の感光材が塗布されたウエハ又はガラスプレート等の基板（以下、適宜「感応基板」と称する）上に転写する投影露光装置が一般的に使用されている。近年では、この投影露光装置として、感応基板を2次元的に移動自在な基板ステージ上に載置し、この基板ステージにより感応基板を歩進（ステッピング）させて、レチクルのパターン像を感応基板上の各ショット領域に順次露光する動作を繰り返す、所謂ステップ・アンド・リピート方式の縮小投影露光装置（いわゆるステッパー）が主流となっている。

最近になって、このステッパー等の静止型露光装置に改良を加えた、ステップ・アンド・スキャン方式の投影露光装置（例えば米国特許第 5,646,413 号に対応する特開平 7-176468 号公報に記載された様な走査型露光装置）も比較的多く用いられるようになってきた。このステップ・アンド・スキャン方式の投影露光装置は、①ステッパーに比べると大フィールドをより小さな光学系で露光できるため、投影光学系の製造が容易であるとともに、大フィールド露光によるショット数の減少により高スループットが期待出来る、②投影光学系に対してレチクル及びウエハを相対走査することで平均化効果があり、ディストーションや焦点深度の向上が期待出来る等のメリットがある。さらに、半導体素子の集積度が 16M（メガ）から 64M の DRAM、更に将来的には 256M、1G（ギガ）というように時代とともに高くなるのに伴い、大フィールドが必須になるため、ステッパーに代わってスキャン型投影露光装置が主流になるであろうと言われている。

この種の投影露光装置においては、露光に先立ってレチクルとウエハとの位置合わせ（アライメント）を高精度に行う必要がある。このアライメントを行うために、ウエハ上には以前のフォトリソグラフィ工程で形成（露光転写）された位置検出用マーク（アライメントマーク）が設けられており、このアライメントマークの位置を検出することで、ウエハ（又はウエハ上の回路パターン）の正確な位置を検出することができる。

アライメントマークを検出するアライメント顕微鏡としては、大別して投影レンズを介してマーク検出を行なうオンアクシス方式と、投影レンズを介さずマーク検出を行なうオフアクシス方式のものがあるが、



今後の主流になるであろうエキシマレーザ光源を用いる投影露光装置では、オフアクシス方式のアライメント顕微鏡が最適である。これは、投影レンズは露光光に対して色収差の補正がなされているので、オンアクシスの場合、アライメント光が集光できないか、集光できたとしても色収差による誤差が非常に大きなものとなるのに対し、オフアクシス方式のアライメント顕微鏡は、投影レンズとは別に設けられていることから、このような色収差を考慮することなく、自由な光学設計が可能であること、及び種々のアライメント系が使用できるからである。例えば、位相差顕微鏡や微分干渉顕微鏡等も使用できる。

このスキャン型投影露光装置を用いて感応基板を露光する場合は、例えば、米国特許第5,448,332号に対応する特開平6-283403号公報等に記載されているように、露光フィールドに対して走査方向の手前側に設けられた1列全ての検出点をサンプル点として、予め露光前にそのサンプル点でのフォーカス位置の値を全て計測し、平均化処理やフィルタリング処理を行って、位相遅れを見込んで露光時にオープンでオートフォーカス及びオートレベリング機構を制御する。そして、それと並行して上記1列の各サンプル点でのフォーカス位置の計測値から最小自乗近似法で非スキャン方向の傾きを求め、非スキャン方向のレベリング制御をオープン制御で行う、いわゆる完全先読み制御法が実施されていた。

この種の投影露光装置は、主として半導体素子等の量産機として使用されるものであることから、一定時間内にどれだけの枚数のウエハを露光処理できるかという処理能力、すなわちスループットを向上させることが必然的に要請される。

これに関し、上記したステップ・アンド・スキャン方式の投影露光装置の場合、大フィールドを露光する場合には先に述べたように、ウエハ内に露光するショット数が少なくなるのでスループットの向上が見込まれるが、露光はレチクルとウエハとの同期走査による等速移動中に行われることから、その等速移動領域の前後に加減速領域が必要となり、仮にステッパーのショットサイズと同等の大きさのショットを露光する場合には、却ってステッパーよりスループットが落ちる可能性がある。

この種の投影露光装置における処理の流れは、大要次のようになっている。

- ① まず、ウエハローダを使ってウエハをウエハテーブル上にロードするウエハロード工程が行われる。
- ② 次に、サーチアライメント機構によりウエハの大まかな位置検出を行うサーチアライメント工程が行われる。このサーチアライメント工程は、具体的には、例えば、ウエハの外形を基準としたり、あるいは、ウエハ上のサーチアライメントマークを検出することにより行われる。
- ③ 次に、ウエハ上の各ショット領域の位置を正確に求めるファインアライメント工程が行われる。このファインアライメント工程は、一般にEGA（エンハンスド・グローバル・アライメント）方式が用いられ、この方式は、ウエハ内の複数のサンプルショットを選択しておき、当該サンプルショットに付設されたアライメントマーク（ウエハマーク）の位置を順次計測し、この計測結果とショット配列の設計値とに基づいて、いわゆる最小自乗法等による統計演算を行って、ウエハ上の全ショット配列データを求めるものであり（米国特許第4,780,617号に対応する特開昭61-44429号等参照）、高スループットで各ショッ

ト領域の座標位置を比較的高精度に求めることができる。

④ 次に、上述した E G A 方式等により求めた各ショット領域の座標位置と予め計測したベースライン量とに基づいて露光位置にウエハ上の各ショット領域を順次位置決めしつつ、投影光学系を介してレチクルのパターン像をウエハ上に転写する露光工程が行われる。

⑤ 次に、露光処理されたウエハテーブル上のウエハをウエハアンローダを使ってウエハアンロードさせるウエハアンロード工程が行われる。このウエハアンロード工程は、露光処理を行うウエハの上記①のウエハアンロード工程と同時に行われる。すなわち、①と⑤とによってウエハ交換工程が構成される。

このように、従来の投影露光装置では、ウエハ交換→サーチアライメント→ファインアライメント→露光→ウエハ交換……のように、大きく4つの動作が1つのウエハステージを用いて繰り返し行われている。

また、この種の投影露光装置のスループット T H O R [枚/時間] は、上述したウエハ交換時間を T 1、サーチアライメント時間を T 2、ファインアライメント時間を T 3、露光時間を T 4 とした場合に、次式 (1) のように表すことができる。

$$T H O R = 3600 / (T 1 + T 2 + T 3 + T 4) \quad \cdots \cdots (1)$$

上記 T 1 ~ T 4 の動作は、T 1 → T 2 → T 3 → T 4 → T 1 ……のように順次 (シーケンシャルに) 繰り返し実行される。このため、T 1 ~ T 4 までの個々の要素を高速化すれば分母が小さくなって、スループット T H O R を向上させることができる。しかし、上述した T 1 (ウエハ交換時間) と T 2 (サーチアライメント時間) は、ウエハ 1 枚に対して一

動作が行われるだけであるから改善の効果は比較的小さい。また、T 3（ファインアライメント時間）の場合は、上述したE G A方式を用いる際にショットのサンプリング数を少なくしたり、ショット単体の計測時間を短縮すればスループットを向上させることができるが、逆にアライメント精度を劣化させることになるため、安易にT 3を短縮することはできない。

また、T 4（露光時間）は、ウエハ露光時間とショット間のステッピング時間とを含んでいる。例えば、ステップ・アンド・スキャン方式のような走査型投影露光装置の場合は、ウエハ露光時間を短縮させる分だけレチクルとウエハの相対走査速度を上げる必要があるが、同期精度が劣化することから、安易に走査速度を上げることができない。

特に今後主流になるであろうエキシマレーザ光源を用いる投影露光装置のようにオフアクシスアライメント顕微鏡を用いる装置では、ステージの制御性を向上させることは、容易ではない。すなわち、この種の投影露光装置では、投影光学系を介してのマスクパターンの露光時と、アライメント時との両方でウエハステージの位置をアッペ誤差なく正確に管理し、高精度な重ね合わせを実現するためには、レーザ干渉計の測長軸が投影光学系の投影中心とアライメント顕微鏡の検出中心とをそれぞれ通るように設定する必要があり、しかも露光時のステージの移動範囲内とアライメント時のステージの移動範囲内との両方で前記投影光学系の投影中心を通る測長軸とアライメント顕微鏡の検出中心を通る測長軸とが共に切れないようにする必要があるため、ステージが必然的に大型化するからである。

また、この種の投影露光装置で上記スループット面の他に、重要な条件としては、①解像度、②焦点深度（DOF : Depth of Focus）、③線幅制御精度が挙げられる。解像度Rは、露光波長を $\lambda$ とし、投影レンズの開口数をN.A. (Numerical Aperture) とすると、 $\lambda / N.A.$  に比例し、焦点深度DOFは $\lambda / (N.A.)^2$  に比例する。

このため、解像度Rを向上させる（Rの値を小さくする）には、露光波長 $\lambda$ を小さくするか、あるいは開口数N.A. を大きくする必要がある。特に、最近では半導体素子等の高密度化が進んでおり、デバイスルールが $0.2 \mu m L/S$ （ライン・アンド・スペース）以下となってきたことから、これらのパターンを露光する為には照明光源としてKrFエキシマレーザを用いている。しかしながら、前述したように半導体素子の集積度は、将来的に更に上がることは必至であり、KrFより短波長な光源を備えた装置の開発が望まれる。このようなより短波長な光源を備えた次世代の装置の候補として、ArFエキシマレーザを光源とした装置、電子線露光装置等が代表的に挙げられるが、ArFエキシマレーザの場合は、酸素のある所では光が殆ど透過せず、高出力が出にくい上、レーザの寿命も短く、装置コストが高いという技術的な課題が山積しており、また、電子線露光装置の場合、光露光装置に比べてスループットが著しく低いという不都合があることから、短波長化を主な観点とした次世代機の開発は思うようにいかないというのが現実である。

解像度Rを上げる他の手法としては、開口数N.A. を大きくすることも考えられるが、N.A. を大きくすると、投影光学系のDOFが小さくなるというデメリットがある。このDOFは、UDOF (User Depth of Focus : ユーザ側で使用する部分 : パターン段差やレジスト厚等)

と、装置自身の総合焦点差とに大別することができる。これまでは、 $UDOF$ の比率が大きかったため、 $DOF$ を大きく取る方向が露光装置開発の主軸であり、この $DOF$ を大きくとる技術として例えば変形照明等が実用化されている。

ところで、デバイスを製造するためには、 $L/S$ （ライン・アンド・スペース）、孤立 $L$ （ライン）、孤立 $S$ （スペース）、及び $CH$ （コンタクトホール）等が組み合わさったパターンをウエハ上に形成する必要があるが、上記の $L/S$ 、孤立ライン等のパターン形状毎に最適露光を行うための露光パラメータが異なっている。このため、従来は、 $ED-TREE$ （レチクルが異なる $CH$ は除く）という手法を用いて、解像線幅が目標値に対して所定の許容誤差内となり、かつ所定の $DOF$ が得られるような共通の露光パラメータ（コヒーレンスファクタ $\sigma$ 、 $N.A.$ 、露光制御精度、レチクル描画精度等）を求めて、これを露光装置の仕様とすることが行われている。しかしながら、今後は以下のような技術的な流れがあると考えられている。

①プロセス技術（ウエハ上平坦化）向上により、パターン低段差化、レジスト厚減少が進み、 $UDOF$ が $1\mu m$ 台 $\rightarrow 0.4\mu m$ 以下になる可能性がある。

②露光波長が $g$ 線（ $436nm$ ） $\rightarrow i$ 線（ $365nm$ ） $\rightarrow KrF$ （ $248nm$ ）と短波長化している。しかし、今後は $ArF$ （ $193$ ）までの光源しか検討されてなく、その技術的ハードルも高い。その後は $EB$ 露光に移行する。

③ステップ・アンド・リピートのような静止露光に代わりステップ・アンド・スキャンのような走査露光がステッパーの主流になる事が予想されている。この技術は、径の小さい投影光学系で大フィールド露光が可



能であり（特にスキャン方向）、その分高  $N.A.$  化を実現し易い。

上記のような技術動向を背景にして、限界解像度を向上させる方法として、二重露光法が見直され、この二重露光法を  $KrF$  及び将来的には  $ArF$  露光装置に用い、 $0.1\mu m L/S$  まで露光しようという試みが検討されている。一般に二重露光法は以下の3つの方法に大別される。

（1）露光パラメータの異なる  $L/S$ 、孤立線を別々のレチクルに形成し、各々最適露光条件により同一ウエハ上に二重に露光を行う。

（2）位相シフト法等を導入すると、孤立線より  $L/S$  の方が同一  $DOF$  にて限界解像度が高い。これを利用することにより、1枚目のレチクルで全てのパターンを  $L/S$  で形成し、2枚目のレチクルにて  $L/S$  を間引きすることで孤立線を形成する。

（3）一般に、 $L/S$  より孤立線は、小さな  $N.A.$  にて高い解像度を得ることができる（但し、 $DOF$  は小さくなる）。そこで、全てのパターンを孤立線で形成し、1枚目と2枚目のレチクルによってそれぞれ形成した孤立線の組み合わせにより、 $L/S$  を形成する。上記の二重露光法は解像度向上、 $DOF$  向上の2つの効果がある。

しかし、二重露光法は、複数のレチクルを使って露光処理を複数回行う必要があるため、従来の装置に比べて露光時間（ $T_4$ ）が倍以上になり、スループットが大幅に劣化するという不都合があったことから、現実には、二重露光法はあまり真剣に検討されてなく、従来より露光波長の紫外化、変形照明、位相シフトレチクル等により、解像度、焦点深度（ $DOF$ ）の向上が行われてきた。

ところが、先に述べた二重露光法を  $KrF$ 、 $ArF$  露光装置に用いる

と  $0.1 \mu\text{mL/S}$  までの露光が実現することにより、256M、1GのDRAMの量産を目的とする次世代機の開発の有力な選択肢であることは疑いなく、このためのネックとなる二重露光法の課題であるスループットの向上のため新技術の開発が待望されていた。

これに関し、前述した4つの動作すなわちウエハ交換、サーチアライメント、ファインアライメント、及び露光動作の内の複数動作同士を部分的にでも同時並行的に処理できれば、これら4つの動作をシーケンシャルに行う場合に比べて、スループットを向上させることができると考えられ、そのためには基板ステージを複数設けることが前提となる。この基板ステージを複数設けることは公知であり、理論上簡単なように思えるが、十分な効果を発揮させるために解決しなければならない多くの問題が山積している。例えば、現状と同程度の大きさの基板ステージを単に2つ並べて配置するのでは、装置の設置面積（いわゆるフットプリント）が著しく増大し、露光装置が置かれるクリーンルームのコストアップを招くという不都合がある。また、高精度な重ね合わせを実現するためには、同一の基板ステージ上の感応基板に対し、アライメントを実行した後、そのアライメントの結果を用いてマスクのパターン像と感応基板の位置合わせを実行して露光を行う必要があるため、単に2つの基板ステージの内、一方を例えば露光専用、他方をアライメント専用等とすることは、現実的な解決策とは成り得ない。

更に、2つの基板ステージを独立して移動制御しながら2つの動作を同時並行処理する場合は、両ステージ同士が接触しないように移動制御したり（干渉防止）、一方のステージ上の動作が他方のステージ上の動作に影響を与えないようにする（外乱防止）必要があった。

更にまた、走査型の投影露光装置では、ウエハW上の各ショット領域に対する露光順序は、①スキャン時加減速時間、②整定時間、③露光時間、④隣接ショットへのステッピング時間等の①～④の各パラメータにより決定されるが、一般にレチクルステージの加減速が律速条件となるため、レチクルステージを走査方向の一側から他側、他側から一側に交互に走査し、これに合わせてウエハをレチクルステージと反対方向に交互に走査する（このためには、ウエハは1ショット露光後、非走査方向へ1ショット分ステッピングされる）ことが最も効率的である。

しかしながら、上述した従来の完全先読み制御（特開平6-283403号公報等）を行なう場合には、上述した最も効率的な露光順序で露光を行なうことが困難であった。すなわち、ウエハ中心近傍のショット領域を露光する場合は、特に問題なく上記完全先読み制御を行なうことができるが、ウエハ外周近傍に存在するショット領域や、外周での欠けショットでは、その走査方向によっては完全先読み制御が困難な場合があり、完全先読みを行なうために走査方向をウエハの内側から外側にせざるを得ないのが現状だからである。このため、スループットの低下を招いていた。

特開平8-51069号（対応米国特許出願第261630号、1994年6月17日出願）は、ウェーハ位置監視追跡装置を含む複数のウェーハ・ステーションを含むステップ・アンド・リピート装置を開示している。ウェーハ・ステーションとして結像ステーションと特性測定ステーションを備え、各ステーションはウェーハを保持するチャックを有する。特性測定ステーションでは、ウェーハのフィールドごとにフィー

ルドの傾斜や深さが判定される。結像ステーションは結像レンズを備え、特性測定ステーションで特性測定がされたウェーハの各フィールドに像がプリントされる。それらのステーションにおけるウェーハの特性測定と結像は並列して行われる。このため、特性測定と結像を順次行う順次行う従来のステッパに比べてスループットを2倍にすることができることがこの公報に述べられている。しかしながら、このタイプの装置では、特性測定ステーションで収集したウェーハのデータがウェーハの結像ステーションへの移動後においても有効で且つ正確であるために、ウェーハを常に干渉計によって監視続けなければならない。

本発明は、かかる事情の下になされたもので、発明の第1の目的は、スループットを一層向上させることができる投影露光装置を提供することにある。

発明の第2の目的は、スループットを一層向上させることができる投影露光方法を提供することにある。

発明の第3の目的は、露光動作とアライメント動作等との並行処理によりスループットの向上及び基板ステージの小型・軽量化を図ることが可能な投影露光装置を提供することにある。

発明の第4の目的は、スループットの向上及びステージの小型・軽量化を図ることが可能な投影露光方法を提供することにある。

発明の第5の目的は、スループットを一層向上させるとともに、両ステージ相互間の外乱の影響を防止することができる投影露光装置を提供

することにある。

発明の第6の目的は、スループットを一層向上させるとともに、両ステージ同士の干渉を防止することができる投影露光装置を提供することにある。

発明の第7の目的は、スループットを一層向上させるとともに、両ステージ相互間の外乱の影響を防止することができる投影露光方法を提供することにある。

発明の第8の目的は、スループットを一層向上させるとともに、両ステージ同士の干渉を防止することができる投影露光方法を提供することにある。

発明の第9の目的は、スループットを一層向上させつつ、高精度なフォーカス、レベリング制御を行うことが可能な投影露光装置を提供することにある。

発明の第10の目的は、スループットを一層向上させつつ、高精度なフォーカス、レベリング制御を行うことが可能な投影露光方法を提供することにある。

発明の第11の目的は、サンプルショット領域の配列に基づいてマスクとの位置合わせを行うEGAを使う場合でも、スループットを一層向上させつつ、高精度なフォーカス、レベリング制御を行うことが可能な投影露光方法を提供することにある。

発明の第 1 2 の目的は、感応基板の外周近傍のショット領域を露光する際に先読み計測できなかった内側のフォーカス情報を先読みデータとしてフォーカス制御に用いることにより、スループットを向上させつつ、高精度なフォーカス、レベリング制御を行うことが可能な投影露光装置を提供することにある。

発明の第 1 3 の目的は、スループットを一層向上させつつ、高精度なフォーカス、レベリング制御を行うことが可能な走査露光方法を提供することにある。

発明の第 1 4 の目的は、スループットを向上させることができるとともに、ベースライン量に無関係に基板ステージの大きさを定めることができる露光方法を提供することにある。

#### 発明の開示

前述した 3 つの動作、すなわちウエハ交換（サーチアライメントを含む）、ファインアライメント、及び露光動作の内の複数動作同士を部分的にでも同時並行的に処理できれば、これらの動作をシーケンシャルに行なう場合に比べて、スループットを向上させることができると考えられる。本発明はかかる観点に着目するとともに従来技術の不都合を解消すべくなされたものである。

本発明の第 1 の態様に従えば、感応基板（W 1 , W 2 ）上に区画された複数の領域（S A ）をそれぞれ所定パターンで暴露する暴露装置であって、感応基板（W 1 , W 2 ）を保持して、感応基板上の区画領域の位



置情報を計測する位置情報計測セクション（P I S）と暴露セクション（E P S）との間を独立に移動する複数のステージ（W S 1, W S 2）を備える暴露装置が提供される。位置情報計測セクションで行われる感応基板の各区画領域（ショット領域（S A））の位置情報の計測と暴露セクションで行われる各区画領域の暴露は並行して行われるこのため、それらのセクションの処理工程をシーケンシャルに行っていた従来の暴露装置にスループットが著しく向上する。位置情報計測セクションにおいて計測された位置情報、例えば、各区画領域のX、Y、Z方向位置を暴露領域においても高精度に維持するために、本発明では、各ステージ（W S 1, W S 2）が感応基板上の各区画領域（S A）のステージ内における相対位置を求めるための基準マーク（M K 1, M K 2, M K 3）を有する。位置情報計測セクションで計測された該基準マークに対する各区画領域の相対位置を用いて、暴露領域において感応基板の各区画領域の位置合わせが行われる。このため、上記位置情報計測セクション及び暴露セクションに存在するステージの位置をそれぞれ計測するための複数の計測システム（例えば、干渉計）は、各セクションにおいてのみ独立にステージ位置を計測すれば足り、両セクション間でのステージの移動が行われているときに一つ計測システムがステージ位置を追跡したり、計測システム間でデータの転送を行う必要がない。

上記暴露装置は、さらに、位置情報検出系を上記位置情報計測セクション及び暴露セクションにそれぞれ備え、該位置情報検出系により基準マークに対する感応基板の各区画領域の位置が計測または決定され得る。暴露装置が投影露光装置である場合には、上記位置情報計測セクションにおける位置情報検出系はアライメント系（2 4 a, 2 4 b）及び感応基板の面位置を検出する検出系（1 3 0, ）にすることができ、暴露セ

クションにおける位置情報検出系は投影光学系を通じてマークを検出する検出器（52a, 52b）にすることができる。さらに、暴露装置は位置情報計測セクションにおいて求められた感応基板の各区画領域の位置情報を記憶するための記憶装置（91）を備え得る。

本発明の第2の態様に従えば、マスク（R）に形成されたパターンの投影光学系（PL）による像を感応基板（W1, W2）上に投影することによって感応基板を露光する投影露光装置において、感応基板（W1）を保持して2次元平面内を移動し、基準マークがその表面に形成された第1基板ステージ（WS1）と；感応基板（W2）を保持して前記第1基板ステージ（WS1）と同一平面内を前記第1基板ステージ（WS1）とは独立に移動し、基準マークがその表面に形成された第2基板ステージ（WS2）と；前記投影光学系（PL）とは隔離して設けられ、前記基板ステージ（WS1, WS2）上の基準マーク又は前記基板ステージ（WS1, WS2）に保持された感応基板（W1, W2）上のマークを検出する少なくとも1つのマーク検出系（例えば24a）と；前記第1基板ステージ（WS1）及び第2基板ステージ（WS2）の内の一方向のステージ（WS1又はWS2）が前記マーク検出系（24a）によるマーク検出動作を行う間に、他方のステージ（WS2又はWS1）が露光動作を行うように両ステージ（WS1, WS2）の動作を制御する制御装置（90）とを有することを特徴とする投影露光装置が提供される。

この投影露光装置によれば、制御装置により第1基板ステージ及び第2基板ステージの内の一方向のステージがマーク検出系によるマーク検出動作を行う間に、他方のステージが露光動作を行うように両ステージ（WS1, WS2）の動作が制御されることから、一方の基板ステージに

保持された感応基板上のマーク検出動作と他方の基板ステージに保持された感応基板の露光動作とを並行処理することが可能となる。従って、先に説明した時間  $T_2$  及び時間  $T_3$  の動作と、時間  $T_4$  の動作とが並行処理できるので、時間  $(T_1 + T_2 + T_3 + T_4)$  を要していた従来のシーケンシャルな処理に比べてスループットを向上させることが可能になる。

この投影露光装置において、第1基板ステージ及び第2基板ステージ ( $WS_1$  及び  $WS_2$ ) と感応基板 ( $W_1$ ,  $W_2$ ) の受け渡しを行う搬送システム (180~200) をさらに有する場合には、前記制御装置 (90) は、前記一方の基板ステージ ( $WS_1$  又は  $WS_2$ ) が前記搬送システム (180~200) と感応基板の受け渡し及び前記マーク検出系 (24a) によるマーク検出動作を行う間に、前記他方の基板ステージ ( $WS_2$  又は  $WS_1$ ) が前記投影光学系 (PL) による露光動作を行うように両ステージ ( $WS_1$ ,  $WS_2$ ) の動作を制御するようにすることが一層望ましい。このようにする場合には、先に説明した時間  $T_1$ 、時間  $T_2$  及び時間  $T_3$  の動作を一方の基板ステージ側で行い、時間  $T_4$  の動作を他方の基板ステージ側で行うことが出来るので、一層スループットの向上が可能となる。

上記投影露光装置では、アライメント系のようなマーク検出系が投影光学系とは別に少なくとも1つ設けられていれば良いが、例えばマーク検出系が投影光学系とは別に2つある場合には、2つのマーク検出系 (24a, 24b) を、所定方向に沿って前記投影光学系 (PL) の両側にそれぞれ配置し、前記制御装置 (90) が、第1基板ステージ ( $WS_1$ ) 上の基準マーク又は第1基板ステージ ( $WS_1$ ) に保持された感応

基板（W 1）上のマークを一方のマーク検出系（2 4 a）で検出し、第 2 基板ステージ（W S 2）上又は第 2 基板ステージ（W S 2）に保持された感応基板（W 2）上のマークを他方のマーク検出系（2 4 b）で検出するようにしても良い。このようにした場合には、中央に位置する投影光学系で一方の基板ステージ上の感応基板を露光している間に（露光動作）、他方の基板ステージ上の感応基板を一方のマーク検出系を使ってマーク検出を行い（アライメント動作）、露光動作とアライメント動作とを切り換える場合は、2 つの基板ステージを前記所定方向に沿って他方のマーク検出系の方に移動させるだけで、投影光学系の下にあった一方の基板ステージを他方のマーク検出系位置に移動させ、一方のマーク検出系位置にあった他方の基板ステージを投影光学系の下まで移動させることを容易に行うことができ、このようにして 2 つのマーク検出系を交互に使用することが可能になる。

本発明の第 3 の態様に従えば、マスク（R）に形成されたパターンの投影光学系（P L）による像を感応基板（W 1，W 2）上に投影することによって感応基板を露光する投影露光方法において、感応基板（W 1，W 2）を保持して 2 次元平面内をそれぞれ独立に移動可能な 2 つの基板ステージ（W S 1，W S 2）を用意し、前記 2 つの基板ステージ（W S 1，W S 2）のうちの一方のステージ（W S 1 又は W S 2）で、感応基板の交換動作と前記基板ステージ上又は前記基板ステージに保持された感応基板上のマークの検出動作との少なくとも一方を行う間に、前記 2 つの基板ステージのうちの他方のステージ（W S 2 又は W S 1）で、感応基板に対する露光動作を実行することを特徴とする投影露光方法が提供される。

この投影露光方法によれば、先に説明した時間  $T_1$  の動作及び時間 ( $T_2 + T_3$ ) の動作の少なくとも一方を一方の基板ステージ上で行っている間に、これと並行して時間  $T_4$  の動作が他方の基板ステージ上で行われることから、時間 ( $T_1 + T_2 + T_3 + T_4$ ) を要していた従来のシーケンシャルな処理に比べてスループットを向上させることが可能になる。特に、一方のステージ側で時間 ( $T_1 + T_2 + T_3$ ) の動作を行う間に、これと並行して他方のステージ側で時間  $T_4$  の動作を行う場合には、より一層スループットの向上を図ることが可能になる。

この場合、2つの基板ステージ上で行われるそれぞれの動作は、常に同時に終了するとは限らないが、2つの基板ステージのそれぞれの動作が終了した時点で、2つの基板ステージの動作を切換えるようにしても良い。これにより、早く動作が終了した方は、待機状態となり、両ステージにおける動作が終了した時点で動作の切り換えが行われる。この待機時間は、スループットを低下させる要因となるため、できるだけ待機時間が少なくなる。

本発明の第4の態様に従えば、マスク (R) に形成されたパターンの投影光学系 (PL) による像を感応基板 (W) 上に投影することによって感応基板を露光する露光方法において、感応基板 (W) を保持して各々同一の平面内を独立に移動可能な2つの基板ステージ (WS1、WS2) を用意し；前記2つの基板ステージ (WS1、WS2) の内の一方の基板ステージ (WS1又はWS2) に保持された感応基板 (W) 上に前記投影光学系 (PL) を介して前記マスク (R) のパターン像を露光し；前記一方の基板ステージ (WS1又はWS2) に保持された感応基板 (W) の露光中に、前記2つの基板ステージの内の他方の基板ステージ (

WS 2 又は WS 1) に保持された感応基板 (W) 上の位置合わせマークと前記他方のステージ (WS 2 又は WS 1) 上の基準点との位置関係を計測し; 前記一方の基板ステージに保持された感応基板の露光終了後に、前記投影光学系の投影領域内の所定の基準点に対する前記他方の基板ステージ上の基準点の位置ずれ及び前記位置ずれが得られるときの前記他方の基板ステージの座標位置を検出し; 前記検出された位置関係、前記検出された位置ずれ及び前記検出された座標位置に基づいて前記他方の基板ステージの移動を制御して前記他方のステージに保持された感応基板と前記マスクのパターン像との位置合わせを行うことを特徴とする露光方法が提供される。

上記露光方法によれば、2つの基板ステージ (WS 1、WS 2) の内の一方の基板ステージ (WS 1 又は WS 2) に保持された感応基板 (W) 上に前記投影光学系 (PL) を介して前記マスク (R) のパターン像の露光が行われる間に、①2つの基板ステージの内の他方の基板ステージ (WS 2 又は WS 1) に保持された感応基板 (W) 上の位置合わせマークと他方のステージ (WS 2 又は WS 1) 上の基準点との位置関係が計測される。このように、一方の基板ステージ側の露光動作と他方の基板ステージ側のアライメント動作 (他方の基板ステージに保持された感応基板上の位置合わせマークと他方のステージ上の基準点との位置関係の計測) とを並行して行なうことができるので、これらの動作をシーケンシャルに行なっていた従来技術に比べてスループットの向上を図ることが可能である。

そして、上記一方の基板ステージに保持された感応基板の露光終了後に、前記他方の基板ステージ (WS 2 又は WS 1) 上の基準点を投影光



学系（P L）の投影領域内に位置決めした状態で、②その投影領域内の所定の基準点に対する他方の基板ステージ上の基準点の位置ずれ及び③その位置ずれ検出時の他方の基板ステージの座標位置が検出される。その後、①検出された位置関係、②検出された位置ずれ及び③検出された座標位置に基づいて他方の基板ステージ（W S 2 又は W S 1）の移動を制御し、他方のステージに保持された感応基板と前記マスクのパターン像との位置合わせが行われる。

このため、①の他方の基板ステージ上の所定の基準点と感応基板上の位置合わせマークとの位置関係検出時に当該基板ステージの位置を管理する干渉計（あるいは座標系）と、②、③の位置ずれ検出及び基板ステージの座標位置の検出の際のステージの位置を管理する干渉計（あるいは座標系）とが異なっても何らの不都合なく、マスクのパターン像と前記他方の基板ステージに搭載された感応基板との位置合わせを高精度に行なうことができる。すなわち、ステージの位置計測をアライメント動作、アライメント位置から露光位置への移動動作及び露光動作を通じて一つの干渉計で連続して監視する必要がなくなる。

従って、例えば位置合わせマークを検出するマーク検出系としてオフアクシス（アライメントマーク検出用の検出器が投影光学系の真下からずれた位置にある）のアライメント系を用いる場合、投影光学系の投影領域内の所定の基準点（マスクのパターン像の投影中心）とアライメント系の検出中心との位置関係、すなわちベースライン量の計測が不要となり、結果的に投影光学系とアライメント系とが大きく離れていても何らの不都合がない。それゆえ、ベースライン量に無関係に基板ステージの大きさを設定することができ、基板ステージを小型・軽量化しても何

らの不都合なく、感応基板の全面に対してマーク位置計測、投影光学系を介したパターンの露光を行なうことができる。この場合、ベースライン量の変動の影響を受けることもない。

本発明の第5の態様に従えば、投影光学系（P L）を介して感応基板（W）上にパターンを投影することによって感応基板を露光する露光装置において、感応基板（W）を保持して2次元平面内を移動し、基準マークがその表面に形成された第1基板ステージ（W S 1）と；感応基板（W）を保持して前記第1基板ステージ（W S 1）と同一平面内を前記第1基板ステージ（W S 1）とは独立に移動し、基準マークがその表面に形成された第2基板ステージ（W S 2）と；前記投影光学系（P L）とは隔離して設けられ、前記基板ステージ（W S 1、W S 2）上の基準マーク又は該ステージに保持された感応基板（W）上のアライメントマークを検出するためのマーク検出系（W A）と；前記第1基板ステージ及び第2基板ステージの2次元位置をそれぞれ計測するための干渉計システム（26）と；前記2つの基板ステージのそれぞれを、該ステージ上に保持された感応基板に対して前記投影光学系を介して露光が行われる露光時のステージ移動範囲内の所定の第1位置と、前記マーク検出系によりステージ上の基準マーク又は該ステージに保持された感応基板上のマーク検出が行われる時のステージ移動範囲内の所定の第2位置との間で移動させる移動装置（201、22）と；第1基板ステージ及び第2基板ステージの内の一方向のステージに保持された感応基板が露光される間に、前記第1基板ステージ及び第2基板ステージの内の方のステージ上で前記マーク検出系（W A）によるマーク検出動作が行われるように、前記干渉計システム（26）の計測値をモニタしつつ、前記2つのステージの動作を制御した後に、前記移動装置（201、22）を制

御して前記一方の基板ステージと他方の基板ステージの位置を入れ替える制御装置（28）とを有する。

これによれば、制御装置（28）により、一方のステージに保持された感応基板が露光される間に、他方のステージ上でマーク検出系（例えば、アライメント系）（WA）によるマーク検出動作が行われるように、干渉計システム（26）の計測値をモニタしつつ、2つのステージの動作を制御された後に、移動装置（201、22）が制御され、一方の基板ステージと他方の基板ステージの位置の入れ替えが行われる。このため、一方の基板ステージ側の露光動作と他方のステージ側のアライメント動作との並行処理により、スループットの向上が可能であるとともに、位置の入れ替え後に第2位置にある基板ステージ上で感応基板の交換を行なうようにすれば、両ステージの動作を入れ替えて、他方のステージに保持された感応基板が露光される間に、一方のステージ上でマーク検出系（例えば、アライメント系）（WA）によるマーク検出動作を並行して行なうことが可能になる。

上記露光装置において、前記干渉計システム（26）は、前記投影光学系（PL）の投影中心で相互に垂直に交差する第1測長軸（Xe）及び第2測長軸（Ye）と、前記マーク検出系（WA）の検出中心で相互に垂直に交差する第3測長軸（Xa）及び第4測長軸（Ya）とを備えてよく、前記制御装置（28）は、前記一方と他方のステージの位置を入れ替える際に、前記干渉計システム（26）の測長軸（Xe, Ye, Xa, Ya）をリセットすることが望ましい。このように干渉計システム及び制御装置を構成することにより、干渉計システム（26）が、投影光学系（PL）の投影中心で相互に垂直に交差する第1測長軸（Xe）

及び第2測長軸（ $Y_e$ ）と、マーク検出系（アライメント系）（ $WA$ ）の検出中心で相互に垂直に交差する第3測長軸（ $X_a$ ）及び第4測長軸（ $Y_a$ ）とを備えていることから、投影光学系を介しての感応基板上へのパターンの露光時及びマーク検出系による位置検出マークの検出時のいずれのときにおいても、アッペの誤差なく基板ステージ（ $WS_1$ 、 $WS_2$ ）の位置を正確に管理することができる。また、制御装置（28）が、一方と他方のステージの位置を入れ替える際に、干渉計システム（26）の測長軸（ $X_e$ 、 $Y_e$ 、 $X_a$ 、 $Y_a$ ）をリセットすることから、位置の入れ替えの際に、それまでそれぞれの基板ステージの位置を管理していた干渉計システムの測長軸が一旦切れても、干渉計システム（26）の測長軸（ $X_e$ 、 $Y_e$ 、 $X_a$ 、 $Y_a$ ）をリセットする位置を予め所定の位置に定めておけば、リセット後は、そのリセットされた測長軸の計測値を用いて第1、第2の基板ステージの位置を管理することが可能になる。

本発明の第6の態様に従えば、投影光学系（ $PL$ ）を介して感応基板（ $W$ ）上にパターンを投影することにより感応基板を露光する露光装置において、感応基板（ $W$ ）を保持して2次元平面内を移動し、基準マークがその表面に形成された第1基板ステージ（ $WS_1$ ）と；感応基板（ $W$ ）を保持して前記第1基板ステージ（ $WS_1$ ）と同一平面内を前記第1基板ステージとは独立に移動し、基準マークがその表面に形成された第2基板ステージ（ $WS_2$ ）と；前記投影光学系（ $PL$ ）とは隔離して設けられ、前記基板ステージ上に形成された基準マーク又は該ステージに保持された感応基板上のアライメントマークを検出するためのマーク検出系（ $WA$ ）と；前記第1基板ステージ及び第2基板ステージの2次元位置をそれぞれ計測するための干渉計システム（26）と；前記2つの基

板ステージのそれぞれを、ステージ上に保持された感応基板（W）に対して前記投影光学系（PL）を介して露光が行われる露光時のステージ移動範囲内の所定の第1位置と、前記マーク検出系（WA）によりステージ上又は該ステージに保持された感応基板上のマーク検出が行われる時のステージ移動範囲内の所定の第2位置と、基板ステージと外部の基板搬送機構との間で感応基板の受け渡しが行われれる第3位置の3地点間で移動させる移動装置（201、221）と；第1基板ステージ（WS1）及び第2基板ステージ（WS2）の内の一方のステージの位置が前記干渉計システム（26）により管理され、該一方のステージに保持された感応基板（W）に前記投影光学系（PL）を介してパターンが露光される間に、前記第1基板ステージ及び第2基板ステージの内の他方のステージ上で感応基板（W）の交換及び前記感応基板（W）上のアライメントマークと前記他方のステージ上の基準マークとの位置関係を前記マーク検出系（WA）の検出結果と前記干渉計システム（26）の計測値とに基づいて計測するアライメント動作が順次行われるように前記2つの基板ステージ（WS1、WS2）及び前記移動装置（201、221）を制御するとともに、前記2つのステージの動作がともに終了した後に、前記2つのステージ上で行われる動作が入れ替わるように、前記2つのステージと前記移動装置とを制御する制御装置（28）とを有する。

上記露光装置によれば、制御装置により、一方の基板ステージの位置が干渉計システムにより管理され、該一方の基板ステージに保持された感応基板に投影光学系を介してパターンが露光される間に、他方の基板ステージ上で感応基板（W）の交換及びその交換後の感応基板（W）上のアライメントマークと他方のステージ上の基準マークとの位置関係を

マーク検出系（WA）の検出結果と干渉計システム（26）の計測値とに基づいて計測するアライメント動作が順次行われるように2つの基板ステージ（WS1, WS2）及び移動装置（201、221）が制御される。このため、一方の基板ステージ側の露光動作と他方のステージ側の感応基板の交換及びアライメント動作との並行処理により、スループットのより一層の向上が可能である。この場合、第1位置、第2位置とは異なる第3位置で感応基板の交換が行われるので、この交換をマーク検出系（例えば、アライメント系）、投影光学系とは別の位置で行なうことができ、マーク検出系、投影光学系が感応基板の交換の妨げになるという不都合もない。

また、制御装置では、2つのステージの動作がともに終了した後に、2つのステージ上で行われる動作が入れ替わるように、2つのステージと移動装置とを制御することから、上記の2つのステージの動作終了後に、これに続いて、他方のステージに保持された感応基板が露光される間に、一方のステージ上でマーク検出系（WA）によるマーク検出動作を並行して行なうことが可能になる。

この場合において、投影光学系として例えば電子鏡筒を用い、感応基板上に電子ビームによりパターンを直接描画しても良いが、パターンが形成されたマスク（R）を更に設け、前記マスク（R）に形成されたパターンの投影光学系（PL）による像を前記第1基板ステージ（WS1）及び第2基板ステージ（WS2）上の感応基板（W）に投影されるようにしても良い。

本発明の露光装置において、前記干渉計システム（26）は、前記投



影光学系（PL）の投影中心で相互に垂直に交差する第1測長軸（Xe）及び第2測長軸（Ye）と、前記マーク検出系（WA）の検出中心で相互に垂直に交差する第3測長軸（Xa）及び第4測長軸（Ya）とを備え、前記制御装置（28）は、前記2つのステージ（WS1, WS2）のそれぞれについて、前記第1位置への移動の際に前記干渉計システム（26）の第1及び第2測長軸（Xe及びYe）をリセットし、前記第2位置への移動の際に前記干渉計システム（26）の第3及び第4測長軸（Xa及びYa）をリセットすることが望ましい。このように干渉計及び制御装置を構成することにより、干渉計システム（26）が、投影光学系（PL）の投影中心で相互に垂直に交差する第1測長軸（Xe）及び第2測長軸（Ye）と、マーク検出系（WA）の検出中心で相互に垂直に交差する第3測長軸（Xa）及び第4測長軸（Ya）とを備えていることから、投影光学系を介しての感応基板上へのパターンの露光時及びマーク検出系による位置検出マークの検出時のいずれのときにおいても、アップの誤差なく基板ステージ（WS1, WS2）の位置を正確に管理することができる。また、制御装置（28）が、2つのステージ（WS1, WS2）のそれぞれについて、第1位置への移動の際に干渉計システム（26）の第1及び第2測長軸（Xe及びYe）をリセットし、第2位置への移動の際に干渉計システム（26）の第3及び第4測長軸（Xa及びYa）をリセットすることから、いずれの基板ステージについても露光開始前、アライメント計測開始前にそれぞれの動作で必要とされる測長軸をリセットすることができ、それまでそれぞれの基板ステージの位置を管理していた干渉計システムの測長軸が一旦切れても、リセット後は、そのリセットされた測長軸の計測値を用いて露光時、アライメント時の両ステージの位置を管理することが可能になる。

本発明の露光装置において、前記マスク（R）のパターンの投影光学系による像の投影中心と前記ステージ上の基準マークとの相対位置関係を前記マスク（R）と前記投影光学系（PL）を介して検出するマーク位置検出器（52A、52B）を更に有することが望ましい。かかる場合には、投影光学系（PL）の投影領域内で基板ステージ（18）上の所定の基準マークとマスクパターン像の投影中心との位置関係が検出可能となる位置に基板ステージ（WS1、WS2）を位置決めした際に、マーク位置検出器（52A、52B）によりマスク（R）のパターン像の投影中心と基板ステージ上の基準マークとの位置関係をマスク（R）と投影光学系（PL）とを介して検出することができる。かかる場合には、投影光学系（PL）の投影領域内で基板ステージ（18）上の所定の基準マークとマスクパターン像の投影中心との位置関係が検出可能となる位置を第1位置として定め、この位置で第1、第2測長軸のリセットをも行なうようにすることが望ましい。

上記露光装置において、前記各基板ステージ（WS1、WS2）が、ステージ本体（WS1a、WS2a）と、この本体（WS1a、WS2a）上に着脱自在に搭載され基板を保持する基板保持部材（WS1b、WS2b）とを有し、該基板保持部材（WS1b、WS2b）の側面には干渉計用反射面が設けられ且つ前記基板保持部材の上面には基準マーク（WM、RM）が形成されている場合には、前記移動装置（201、221）が、前記基板ステージの代わりに前記基板保持部材を前記各地点間で移動させるようにしても良い。

また、これらの場合において移動装置としては、第1位置、第2位置及び第3位置の3地点間（又は第1位置と第2位置との間）で、干渉計

計測値をモニタ用いることなく基板ステージ又は基板保持部材を移動させるものであればどのようなものを用いても良く、例えば、移動装置がロボットアーム（201、221）によって構成されていても良い。

また、上記露光装置において、干渉計システムの測長の基準となる固定鏡は、どこに配置しても良いが、前記投影光学系（PL）、前記マーク検出系（WA）に、それぞれ干渉計による測長の基準となる固定鏡（14X、14Y、18X、18Y）を取り付けても良い。この場合には、固定鏡が他の場所にある場合に比べて、経時的な固定鏡の位置変動や装置の振動に起因する固定鏡の位置変動の影響により測長結果に誤差が生じにくい。

上記露光装置では、第1基板ステージと第2基板ステージの2つのみが設けられていたが、前記第1基板ステージ（WS1）及び第2基板ステージ（WS2）の他に、感応基板を保持して前記2つの基板ステージと同一平面内をこれらのステージとは独立に移動可能な少なくとも1つの別の基板ステージを更に設けても良い。

本発明の第7の態様に従えば、マスク（R）のパターンの投影光学系（PL）による像を感応基板（W1、W2）上に区画された複数のショット領域にそれぞれ投影することによって各ショット領域を露光する投影露光装置において、感応基板（W1）を保持して2次元平面内を移動可能な第1基板ステージ（WS1）と；感応基板（W2）を保持して前記第1基板ステージ（WS1）と同一平面内を前記第1基板ステージ（WS1）とは独立に移動可能な第2基板ステージ（WS2）と；前記投影光学系（PL）とは隔離して設けられ、前記基板ステージ（WS1又

はWS 2)に保持された感応基板(W 1又はW 2)の少なくとも一つのショット領域の位置情報を検出するための位置情報検出系(例えば、24 a, 130)と;前記第1基板ステージ(WS 1)及び第2基板ステージ(WS 2)の各々に設けられ、ステージ(WS 1又はWS 2)上に保持された感応基板(W 1又はW 2)の面位置を調整するための基板駆動系(LS)と;前記第1基板ステージ(WS 1)及び第2基板ステージ(WS 2)の内の一方向のステージ(例えば、WS 1)で前記位置情報検出系(24 a, 130)を用いた位置検出動作が行われる間に、他方のステージ(例えば、WS 2)で前記投影光学系(PL)を用いた露光動作が行われるように前記2つのステージ(WS 1、WS 2)を制御した後、前記一方のステージ(WS 1)で前記投影光学系(PL)を用いた露光動作が行われるように前記一方のステージ(WS 1)を制御するとともに、前記一方のステージ(WS 1)の位置情報検出中に得られた検出結果のうち上記少なくとも一つのショット領域の面位置情報を用いて前記一方のステージ(WS 1)の基板駆動系(LS 1)を制御して上記ショット領域の露光時の位置合わせを実行する制御装置(90)と;を有する露光装置が提供される。

上記露光装置によれば、制御装置により、第1基板ステージ及び第2基板ステージの内一方のステージで位置情報検出系を用いた位置情報の検出が行われる間に、他方のステージで投影光学系を用いた露光動作が行われるように2つのステージが制御されることから、一方のステージ側のマーク計測動作と他方のステージ側の露光動作とを並行処理することにより、これらの動作をシーケンシャルに行っていた従来技術と比べてスループットの向上を図ることが可能である。さらに、制御装置では、上記の一方のステージ側のマーク計測動作と他方のステージ側の露

光動作との並行処理が終了した後に、一方のステージで投影光学系を用いた露光動作が行われるように一方のステージを制御するとともに、一方のステージの位置情報検出中に得られたショット領域の面位置情報の検出結果に基づいて一方のステージの基板駆動系を制御する。このため、この一方のステージの露光動作中に、先の位置情報検出時に得られたショット領域の面位置（Z方向位置）を用いて該一方のステージの基板駆動系を制御して感応基板の面位置を投影光学系の結像面近くまで迅速に追い込むことができる。

上記露光装置において、上記位置情報検出系は、前記基板ステージに保持された感応基板上のマークを計測する少なくとも1つのアライメント系（24a）と前記アライメント系を用いたマーク計測動作中の感応基板面の位置情報を検出するための第1検出系（130）とを含むことができる。さらに、前記投影光学系を用いて露光動作中の感応基板面の位置情報を検出するための第2検出系（132）を備え、上記制御装置（90）は、前記第1基板ステージ及び第2基板ステージの内の一方のステージで前記位置情報検出系による検出が行われる間に、他方のステージで前記投影光学系を用いた露光動作が行われるように前記2つのステージを制御した後、前記一方のステージで前記投影光学系を用いた露光動作が行われるように前記一方のステージを制御するとともに、前記一方のステージの位置情報検出中に得られた第1検出系の検出結果と前記一方のステージの露光動作中に得られる前記第2検出系の検出結果とに基づいて前記一方のステージの基板駆動系（LS）を制御して上記ショット領域の露光時の位置合わせを実行することができる。第2の検出系の検出結果に基づいて基板駆動系を更に微調整して感応基板表面を結像面に合致させることが出来るため、迅速且つ高精度なフォーカス、レベ

リング制御が可能となる。

上記投影露光装置は、照明光で照明された照明領域（I A）に対してマスク（R）を走査方向に移動させるのと同期して前記照明領域に共役な露光領域（I F）に対して感応基板を前記走査方向に移動させることにより前記マスクのパターン像を前記感応基板上に露光する走査型の投影露光装置（例えば、ステップ・アンド・スキャン型露光装置）であることが望ましく、この場合、前記制御装置（90）は、前記第1基板ステージ及び第2基板ステージの内の一方のステージで前記位置情報検出系による検出が行われる間に、他方のステージで前記投影光学系を用いた露光動作が行われるように前記2つのステージを制御した後、前記一方のステージで前記投影光学系を用いた露光動作が行われるように前記一方のステージを制御する際に、前記一方のステージに保持された感応基板上の複数のショット領域の内前記露光領域（I F）に対して前記感応基板の外側から内側へ走査されるように設定された外周近傍のショット領域を露光するときには、前記一方のステージの位置情報検出中に得られた前記第1検出系（130）の検出結果と前記一方のステージの露光動作中に得られる前記第2検出系（132）の検出結果とに基づいてステージの基板駆動系（LS）を制御し、その他のショット領域を露光するときには前記第2検出系の検出結果だけを用いて前記一方のステージの基板駆動系（LS）を制御して上記ショット領域の露光時の位置合わせを実行し得る。この場合、一方のステージの露光動作中に、前ショットの露光時の感応基板の面位置の情報が得られない露光領域に対して前記感応基板の外側から内側へ走査されるように設定された外周近傍のショット領域を露光するときには、一方のステージのマーク計測動作中に得られた第1検出系の検出結果に基づいて該一方のステージの基板駆



動系を制御して感応基板の面位置を投影光学系の結像面近くまで迅速に追い込むことができるとともに、第2の検出系の検出結果に基づいて基板駆動系を更に微調整して感応基板表面を結像面に合致させることが出来る。反対に、上記以外の前ショットの露光時の感応基板の面位置の情報が得られるようなショット領域の露光の際には、露光対象のショット領域の露光開始に先立って、前ショットの露光時の感応基板の面位置の情報に基づいて一方のステージの基板駆動系を制御して感応基板の面位置を投影光学系の結像面近くまで迅速に追い込んだ後、露光中に得られる第2の検出系の検出結果だけを用いて感応基板の面位置調整（「フォーカス・レベリング」調整）が行われる。従って、いずれのショット領域の露光の際にも、迅速且つ高精度なフォーカス、レベリング制御が可能となる。

本発明の第8の態様に従えば、マスク（R）のパターンの投影光学系（PL）による像を感応基板（W1又はW2）上の複数のショット領域にそれぞれ投影することによって各ショット領域を露光する投影露光方法において、感応基板（W1又はW2）を保持して同一の2次元平面内を各々独立に移動可能な2つの基板ステージ（WS1、WS2）を用意し；前記2つのステージ（WS1、WS2）の内一方のステージ（例えば、WS1）に保持された感応基板（例えば、W1）の少なくとも一つのショット領域の位置情報を計測し；前記一方のステージ（WS1）で位置情報の計測が行われている間に、前記2つのステージ（WS1、WS2）の内他方のステージ（WS2）に保持された感応基板（W2）を前記マスク（R）のパターン像で露光し；前記他方のステージ（WS2）の露光動作終了後、前記一方のステージ（WS1）に保持された感応基板を露光する際に前記検出された位置情報を用いて前記一方のステ

ージ（WS1）に保持された感応基板（W1）の面位置を調整することを特徴とする投影露光方法が提供される。

上記露光方法よれば、一方のステージで、例えば、感応基板のアライメントマーク計測動作及び感応基板の所定基準面に対する相対位置などの位置情報が検出されている間に、これと並行して2つのステージの内の他方のステージに保持された感応基板がマスクのパターン像で露光される。このため、一方のステージ側のマーク計測動作と他方のステージ側の露光動作との並行処理により、これらの動作をシーケンシャルに行っていた従来技術と比べてスループットの向上を図ることが可能である。そして、上記他方のステージの露光動作終了後、すなわち上記2つのステージ上での並行動作が終了した後、一方のステージに保持された感応基板が露光されるとともに、この露光中に、先に検出された一方のステージ上に保持された感応基板のショット領域の面位置の情報を用いて前記一方のステージに保持された感応基板の面位置が調整される。このため、この一方のステージの露光動作中に、先に検出された面位置の情報に基づいて該一方のステージに保持された感応基板の面位置を投影光学系の結像面近くまで迅速に追い込むことができる。従って、迅速且つ高精度なフォーカス、レベリング制御が可能となる。

本発明の第9の態様に従えば、マスク（R）に形成されたパターンの投影光学系（PL）による像を感応基板（W1，W2）上に投影することによって感応基板を露光する投影露光装置において、感応基板（W1）を保持して2次元平面内を移動し、基準マークがその表面上に形成された第1基板ステージ（WS1）と；感応基板（W2）を保持して前記第1基板ステージ（WS1）と同一平面内を前記第1基板ステージ（WS

1)とは独立に移動し、基準マークがその表面上に形成された第2基板ステージ(W S 2)と;前記投影光学系(P L)とは隔離して設けられ、前記基板ステージ(W S 1, W S 2)上の基準マーク又は前記基板ステージ(W S 1, W S 2)に保持された感応基板(W 1, W 2)上のアライメントマークを検出する少なくとも1つのマーク検出系(24 a)と;前記投影光学系(P L)の投影中心と前記マーク検出系(24 a)の検出中心とを通る第1軸の一方側から前記第1基板ステージ(W S 1)の前記第1軸方向の位置を計測するための第1測長軸(B I 1 X)と、前記第1軸方向の他方側から前記第2基板ステージ(W S 2)の前記第1軸方向の位置を測長するための第2測長軸(B I 2 X)と、前記投影光学系(P L)の投影中心で前記第1軸と垂直に交差する第3測長軸(B I 3 Y)と、前記マーク検出系(24 a)の検出中心で前記第1軸と垂直に交差する第4測長軸(B I 4 Y)とを備え、これらの測長軸(B I 1 X ~ B I 4 Y)により前記第1基板ステージ及び第2基板ステージ(W S 1 及び W S 2)の2次元位置をそれぞれ計測する干渉計システムとを有する投影露光装置が提供される。

この投影露光装置によれば、第1基板ステージ及び第2基板ステージ上にそれぞれ感応基板が保持されて2次元平面内を独立して移動可能とされ、投影光学系とは隔離して設けられたアライメント系のようなマーク検出系により基板ステージ上の基準マーク及び/またはその基板ステージに保持された感応基板上のマークが検出され、干渉計システムの第1ないし第4測長軸により第1基板ステージ及び第2基板ステージの2次元位置がそれぞれ計測される。この干渉計システムの測長軸として、第1測長軸及び第2測長軸が投影光学系の投影中心とマーク検出系の検出中心とを通る第1軸方向に沿って第1基板ステージ及び第2基板ステ

ージの一方側と他方側に設けられ、第1測長軸により第1基板ステージの第1軸方向位置が計測され、第2測長軸により第2基板ステージの第1軸方向位置が計測される。また、第3測長軸は、投影光学系の投影中心で第1軸と垂直に交差するように設けられ、第4測長軸は、マーク検出系の検出中心で第1軸と垂直に交差するように設けられている。このため、2つの基板ステージ上に形成された基準マークをマーク検出系を用いて検出することができるが、そのマーク検出時における第1基板ステージの2次元位置がマーク検出系の検出中心で相互に垂直に交差する第1測長軸と第4測長軸の干渉計で計測され、第2基板ステージの2次元位置がマーク検出系の検出中心で相互に垂直に交差する第2測長軸と第4測長軸の干渉計で計測され、いずれのステージの位置もアッペ誤差がない状態で正確に計測される。

他方、投影光学系によるマスクパターンの露光時には、第1基板ステージの2次元位置が投影光学系の投影中心で相互に垂直に交差する第1測長軸と第3測長軸の干渉計で計測され、第2基板ステージの2次元位置が投影中心で相互に垂直に交差する第2測長軸と第3測長軸の干渉計でそれぞれ計測され、いずれのステージの位置もアッペ誤差がない状態で正確に計測される。特に、第1測長軸と第2測長軸は、上記のような位置関係で配置されているため、第1基板ステージ及び第2基板ステージを第1軸方向に移動させている間は測長軸が切れることがないので、これらの測長軸の干渉計の計測値に基づいて2つの基板ステージをマーク検出系と投影光学系との間を往復移動させることができ、例えば第1の基板ステージがマーク検出系の下にある間に、第2の基板ステージを投影光学系の下に位置させることができ、それぞれの基板ステージ上又は感応基板上のマークのマーク検出系による位置検出動作と、投影光学

系による露光動作とを並行処理することが可能となり、結果的にスループットを向上させることが可能になる。

上記投影露光装置は、さらに、第1基板ステージ及び第2基板ステージ(W S 1, W S 2)の内の一方のステージの位置を前記干渉計システムの第3測長軸(B I 3 X)の計測値を用いて管理しつつ該一方のステージ上の感応基板を露光している間に、他方のステージに保持された感応基板上のアライメントマークと他方のステージ上の基準マーク(M K)との位置関係を前記マーク検出系の検出結果と前記干渉計システムの第4測長軸(B I 4 X)の計測値とを用いて求め、上記一方のステージの感応基板の露光後に、第3測長軸(B I 3 X)を用いて他方のステージの位置を計測しながら他方のステージ上の基準マークと前記投影光学系の投影領域内の所定の基準点との相対位置関係が求められるように第1及び第2ステージを制御する制御装置(90)を備え得る。

この制御装置では、例えば、第1基板のステージの位置が干渉計システムの第3測長軸の計測値を用いて管理され、第1基板ステージに保持された感応基板が露光される間に、第2基板ステージに保持された感応基板上のアライメントマークと第2基板ステージ上の基準マークとの位置関係がマーク検出系の検出結果と干渉計システムの第4測長軸の計測値とを用いて検出されるように2つの基板ステージの動作が制御される。さらに、制御装置は第3測長軸の計測値を用いて第2基板ステージの位置を計測しつつ、第2基板ステージ上の基準マークと投影光学系の投影領域内の所定の基準点、たとえば、投影中心との位置関係が求められる位置に第2基板ステージを移動するように制御し、そしてそれらの位置関係を求める。すなわち、制御装置では、第1ステージに保持された感



感基板に対し、投影光学系の投影中心で第3測長軸の計測値を用いて第1ステージの位置をアッペ誤差なく管理しつつ投影光学系によるマスクのパターン像の投影が行なわれる間に、第2ステージに保持された感基板上的のアライメントマークと第2ステージ上の基準マークとの位置関係がマーク検出系の検出結果とマーク検出系の検出中心で第4測長軸の計測値を用いてアッペ誤差なく正確に検出されるように、2つの基板ステージの動作を制御することができ、このようにして第1ステージ上の露光動作と第2ステージ上のアライメント動作とが並行して行なうことができるので、スループットの向上を図ることが可能である。

加えて、制御装置は、上記の両ステージの動作が終了すると、第3測長軸の計測値を用いて第2基板ステージの位置を計測しつつ投影光学系の投影領域内の所定の基準点と第2基板ステージ上の基準マークとの位置関係を検出可能な位置に第2基板ステージを移動し、かかる基準マークに基づいて第2基板ステージの位置を管理する。それゆえ、ステージ上の基準マークと感基板上的のアライメントマークとの位置関係が計測された（アライメントが終了した）第2基板ステージについては、アライメントマークの計測時に使用された第4測長軸が計測不能状態におちいても、何等の不都合なく、第3測長軸の計測値を用いてその位置を管理することができるようになり、第2基板ステージ上の基準マークと投影光学系の投影領域内の所定の基準点との位置関係を検出し、この位置関係と前記アライメント計測結果と第3測長軸の計測値とを用いて投影光学系の投影領域と感基板との位置合わせを行ないつつ露光を行なうことが可能となる。すなわち、アライメント時の第2基板ステージの位置を管理していた測長軸が計測不能となっても、別の測長軸により露光時の第2基板ステージの位置管理を行なうことが可能となり、第1ま



たは第2基板ステージのアライメント動作、アライメント位置から露光位置への移動動作及び露光動作を一つの干渉計により連続して監視する必要がなくなる。それゆえ、上記各測長軸の干渉計ビームを反射させるためのステージ反射面を小型化することができ、これにより基板ステージを小型化することができる。

上記投影露光装置において、マーク検出系はアライメント系にし得る。また、上記他方のステージ上の基準マークと前記投影光学系の投影領域内の所定の基準点との相対位置関係が求められる位置に他方のステージを移動したときに、第3測長軸の干渉計をリセットすることが望ましい。このタイミングで第3測長軸の干渉計をリセットすることにより投影領域内の基準点を基準とした他方のステージ上の基準マーク位置及び他方のステージ上の感応基板のアライメントマークの位置をより容易に管理することができる。

上記投影露光装置において、前記投影光学系（PL）に関して前記マーク検出系（24a）の反対側に前記第1軸上に検出中心を有する別のマーク検出系（24b）を有し、

前記干渉計システムは、前記別のマーク検出系（24b）の検出中心で前記第1軸と垂直に交差する第5測長軸（BI5Y）を備え、前記制御装置（90）は、前記一方の基板ステージの位置を前記干渉計システムの前記第3測長軸（BI3Y）の計測値を用いて管理しつつ該一方のステージに保持された感応基板を露光している間に、前記他方のステージに保持された感応基板上的アライメントマークと他方のステージ上の基準マークとの位置関係を前記マーク検出系の検出結果と前記干渉計システムの第4測長軸（BI4Y）の計測値とを用いて求め、一方

のステージの露光の後に、前記第 5 測長軸（B I 5 Y）の計測値を用いて一方のステージの位置を計測しながら前記別のマーク検出系の検出領域内に一方の基板ステージ上の基準マークが位置するように一方のステージを移動するように、第 1 及び第 2 ステージを制御し得る。

上記制御装置は、例えば、第 1 基板ステージに保持された感応基板に対し、投影光学系の投影中心で第 1 軸方向の測長軸（第 1 測長軸及び第 2 測長軸）に垂直に交差する第 3 測長軸の計測値を用いて第 1 基板ステージの位置をアッペ誤差なく管理しつつ投影光学系によるマスクのパターン像を用いた露光が行なわれる間に、第 2 基板ステージに保持された感応基板上のアライメントマークと第 2 基板ステージ上の基準マークとの位置関係がマーク検出系の検出結果とマーク検出系の検出中心で第 1 軸方向の測長軸（第 1 測長軸及び第 2 測長軸）に垂直に交差する第 4 測長軸の計測値を用いてアッペ誤差なく正確に検出されるように、2 つの基板ステージの動作を制御することができ、このようにして一方の基板ステージ上の露光動作と第 2 基板ステージ上のアライメント動作とが並行して行なわれることとなる。

次いで、制御装置は、上記の両ステージの動作が終了すると、第 5 測長軸の計測値を用いて第 1 基板ステージの位置を計測しつつ、別のマーク検出系の検出中心と第 1 基板ステージ上の基準マークとの相対位置が求められるように第 1 基板ステージの動作を制御する。このため、感応基板に対する露光が終了した第 1 基板ステージについては、露光時に使用された第 3 測長軸が計測不能状態になっても、何等の不都合なく、第 1 基板ステージ上の基準マークと第 5 測長軸の計測値を用いてアッペ誤差なく第 1 基板ステージの位置を管理することができるようになる。従

って、2つの基板ステージを第1軸方向にずらし、アライメント動作が終了した第2基板ステージの位置が第3測長軸の計測値を用いて計測可能となり、第5測長軸の計測値を用いて露光動作が終了した第1基板ステージの位置が計測可能となることにより、第1基板ステージ側の露光動作と第2基板ステージ側の露光動作を容易に切り替えることが可能になる。

この場合において、前記第1基板ステージ（WS1）及び前記第2基板ステージ（WS2）との間で感応基板（W1，W2）の受け渡しを行なう搬送システム（180～200）をさらに有し得、前記制御装置は、前記別のマーク検出系（24b）の検出領域内に前記一方の基板ステージ上の基準マークを位置決めし、前記一方のステージはその位置で前記搬送システム（180～200）との間で基板の受け渡しをすることが望ましい。このような構成では、上記の露光動作とアライメント動作との切り替えに加え、制御装置により、干渉計システムの第5測長軸を用いて別のマーク検出系の検出領域内に一方の基板ステージ上の基準マークを位置づけた状態で第1基板ステージと搬送システムとの間で基板の受け渡しが行なわれるので、アライメント開始動作である基準マークの位置計測と感応基板の交換とを基板ステージの静止状態で行なうことができる。更に、ウエハ交換位置からアライメント開始位置への基板ステージの移動時間が零となるのに加え、先に説明した時間T1、時間T2及び時間T3の動作を、例えば、第1基板ステージ側で行ない、時間T4の動作を第2基板ステージ側で行なうことが可能になるので一層スループットの向上を図ることが可能となる。

本発明の投影露光装置において、前記投影光学系（PL）の投影領域

内の所定の基準点は前記マスクのパターン像の投影中心であり、前記マスクのパターン像の投影中心と前記ステージ上の基準マーク（MK 1，MK 2，MK 3）との相対位置関係を前記マスク（R）と前記投影光学系を介して検出するマーク位置検出器（142，144）を更に有し得る。マーク位置検出器は投影光学系を通じてマークを検出する検出器、例えば、レチクルアライメント顕微鏡にし得る。

上記投影露光装置において、マーク検出系は、投影光学系とは隔離して少なくとも1つのマーク検出系が設けられれば良いが、2つのマーク検出系（24a，24b）を、投影光学系（PL）を挟んで、第1軸方向の一方側と他方側とにそれぞれ配置するようにしても良い。マーク検出系をこのような位置関係で配置した場合は、中央に位置する投影光学系で一方の基板ステージ上の感応基板を露光している間に（露光動作）、他方の基板ステージ上の感応基板をいずれかのマーク検出系を使ってマーク検出を行うことができる（アライメント動作）。そして、露光動作とアライメント動作とを切り換える場合は、2つの基板ステージを第1軸方向にずらすだけで、アライメント動作が終了した基板ステージを投影光学系の下に移動させることができるとともに、他方の基板ステージをマーク検出系の位置まで移動させることができる。

上記投影露光装置において、第1基板ステージ及び第2基板ステージ（WS 1及びWS 2）のそれぞれが投影光学系（PL）による露光動作とマーク検出系（例えば24a）によるマーク検出動作とを行えるように、干渉計システム（例えば測長軸BI 1 X～BI 4 Y）の計測結果に基づいて第1基板ステージ及び第2基板ステージの移動制御を独立に行う制御装置（90）をさらに有していても良い。制御装置は、第1基板

ステージ及び第 2 基板ステージのそれぞれが投影光学系 (P L) による露光動作とマーク検出系 (例えば 2 4 a) によるマーク検出動作とを行えるように、干渉計システム (例えば測長軸 B I 1 X ~ B I 4 Y) の計測結果に基づいて第 1 基板ステージ及び第 2 基板ステージの移動制御を独立に行うことから、いずれの基板ステージ上の感応基板に対しても投影光学系による露光動作とマーク検出系によるマーク検出動作とを確実に行うことができる。

この場合、測長軸 B I 3 Y と B I 4 Y の間隔をあまり大きくとると、第 1 基板ステージ及び第 2 基板ステージの移動の際に、測長軸 B I 3 Y、B I 4 Y が基板ステージから外れる一方、このようにならないようにすると、両ステージの干渉が生ずるので、これら为了避免するため、制御装置 (9 0) は、第 1 基板ステージ及び第 2 基板ステージ (W S 1 及び W S 2) のそれぞれに対して、マーク検出系 (例えば 2 4 a) によるマーク検出時と投影光学系 (P L) による露光時とで干渉計システム (例えば測長軸 B I 1 X ~ B I 4 Y) の第 3 測長軸 (B I 3 Y) と第 4 測長軸 (B I 4 Y) とを測長軸から基板ステージが外れても良い様に、切換えるようにすることが望ましい。このように構成した場合には、第 3 測長軸 (B I 3 Y) と第 4 測長軸 (B I 4 Y) との間隔を広くして、両ステージの干渉を防止することができるとともに、第 1 基板ステージ及び第 2 基板ステージの移動の際に、測長軸 B I 3 Y、B I 4 Y が基板ステージから外れた場合に、制御装置によって測長軸の切換えを行うことにより、干渉計システムを使って各処理位置における各基板ステージの 2 次元位置を正確に計測することができる。

本発明の第 1 0 の態様に従えば、マスク (R) のパターンの投影光学

系による像を感応基板上に投影することによって感応基板を露光する投影露光方法であって、

感応基板（W 1、W 2）を保持して各々同一の平面内を独立に移動可能な 2 つの基板ステージ（W S 1、W S 2）を用い、

第 1 干渉計により前記 2 つのステージの内の一方のステージの位置計測を行いながら、該一方のステージ上の感応基板（W 1、W 2）上を露光し、

前記一方のステージに保持された基板の露光中に、第 2 干渉計により他方のステージの位置計測を行いながら、該他方のステージに保持された基板上的アライメントマークと前記他方のステージ上の基準マークとの位置関係を計測し、

前記一方のステージ上の基板の露光終了後に、前記他方のステージの基準マークと前記投影光学系の投影領域内の所定の基準点との位置関係が求められる位置に他方のステージを移動し、

前記求められた他方のステージ上に保持された基板上的アライメントマークと前記他方のステージ上の基準マークとの位置関係と、他方のステージの基準マークと前記投影光学系の投影領域内の所定の基準点との位置関係とに基づき、第 1 干渉計を用いて他方のステージ上に保持された感応基板とマスクのパターン像との位置合わせを行うことを特徴とする投影露光方法が提供される。

この投影露光方法によれば、例えば、第 1 基板ステージに保持された感応基板の露光動作と、第 2 基板ステージに保持された感応基板の位置合わせマークと該ステージ上の基準マークとの位置関係の計測（アライメント動作）とが、並行して行われる。この際、第 1 基板ステージの位置は第 1 干渉計によって管理され、第 2 基板ステージの位置は第 2 干渉



計によって管理される。そして、第1基板ステージ側の露光動作が終了すると、それまで第1基板ステージの位置を管理していた第1干渉計により第2基板ステージの位置が計測可能になるとともに、投影光学系の投影領域内の所定の基準点と第2基板ステージの基準マークとの相対位置が検出可能な位置に第2基板ステージが移動される。続いて、先に計測された第2基板ステージに保持された感応基板上の位置合わせマークと第2基板ステージ上の基準マークとの位置関係に基づき、第1干渉計を用いて第2基板ステージ上に保持された感応基板とマスクのパターン像との位置合わせが行われ、マスクのパターン像が感応基板上に投影露光される。

すなわち、一方の基板ステージに保持された感応基板の露光動作と第2基板ステージに保持された感応基板のアライメント動作とが並行して行われた後に、第1基板ステージが所定の基板交換位置に退避する。これと並行して、第2基板ステージが、投影光学系の投影領域内の所定の基準点（例えば、マスクのパターン像の投影中心）に対して第2基板ステージの基準マークの位置が検出可能な位置まで移動され、そこで両者の位置関係が検出される。そして、この検出結果と先にアライメント動作の際に計測されたステージ上の基準マークと位置合わせマークとの位置関係とに基づいて第1干渉計で位置を管理しつつ第2基板ステージ上に保持された感応基板とマスクのパターン像との位置合わせが露光時に行われる。

従って、第1基板ステージ上の感応基板の露光動作と第2基板ステージ上の感応基板のアライメント動作とを並行して行なうことによりスループットの向上を図ることができるとともに、アライメント時の第2基

板ステージの位置を管理していた第2干渉計が計測不能となっても、第1干渉計測により露光時の第2基板ステージの位置管理を行なうことが可能となり、上記アライメント動作、アライメント位置から露光位置への移動動作及び露光動作を通じてひとつの測長軸または干渉計に連続してステージ位置を監視する必要はなくなる。それゆえ、上記各干渉計の干渉計ビームを反射させるためのステージ反射面を小型化することができる、これにより基板ステージを小型化することができる。

本発明の第11の態様に従えば、マスク(R)に形成されたパターンの投影光学系(PL)による像を感応基板(W1、W2)上に投影することにより感応基板を露光する投影露光装置において、感応基板(W1)を保持して2次元平面内を移動可能な第1基板ステージ(W S 1)と；感応基板(W S 2)を保持して前記第1基板ステージ(W S 1)と同一平面内を前記第1基板ステージ(W S 1)とは独立に移動可能な第2基板ステージ(W S 2)と；前記第1基板ステージ及び第2基板ステージ(W S 1, W S 2)と感応基板の受け渡しを行う搬送システム(180～200)と；前記第1基板ステージ(W S 1)及び第2基板ステージ(W S 2)の内の一方のステージが前記搬送システム(180～200)と感応基板の受け渡しを行う間に、他方のステージが露光動作を行うように両ステージの動作を制御する制御装置(90)とを有することを特徴とする投影露光装置が提供される。

この投影露光装置によれば、制御装置により第1基板ステージ及び第2基板ステージの内の一方のステージが搬送システムとの間で感応基板の受け渡しを行う間に、他方のステージが露光動作を行うように両ステージの動作が制御される。従って、先に説明した時間T1の動作と、時

間  $T_4$  の動作とが並行処理できるので、時間  $(T_1 + T_2 + T_3 + T_4)$  を要していた従来のシーケンシャルな処理に比べてスループットを向上させることが可能になる。

上記各投影露光装置では、1枚のマスクを使って露光を行えば足りるが、マスク (R) を複数枚同時に搭載可能なマスクステージ (RST) と；複数枚のマスク (R) のいずれかが露光位置に選択的に設定されるようにマスクステージ (RST) を駆動する駆動系 (30) とを設けても良い。これによれば、例えば解像力向上のため、いわゆる二重露光法により2枚のマスクを切り換えて露光領域毎に適した露光条件で重ね焼きを行うような場合であっても、マスクステージに予め2枚のマスクを搭載しておき、これを駆動系により露光位置に切り換え設定するだけで、一方の基板ステージ側で2枚のマスクによる連続的な二重露光を行う間に、これと並行して他方の基板ステージ側でアライメント等の他の動作を行うことが可能となり、これにより二重露光法による低スループットを大幅に改善することが可能となる。

上記各投影露光装置は、マスクと感応基板とを静止させた状態でマスクのパターンを投影光学系を介して感応基板に投影露光するステッパのような静止型投影露光装置よりも、マスク (R) が所定方向に移動可能なマスクステージ (RST) に搭載され、前記マスクステージ (RST) と前記第1基板ステージ及び第2基板ステージ (WS1 及び WS2) の内のいずれか一方とを同期移動させつつ、前記マスクパターンを前記感応基板 (WS1、WS2) 上に投影露光するステージ制御装置 (38) をさらに有する走査型投影露光装置の方が効果が高い。即ち、投影光学系によるマスクパターンの投影領域内での像の平均化効果により高精度

な露光を実現することが可能であるとともに、静止型投影露光装置に比べてより小さな投影光学系を使ってより大きな面積を露光することができる為である。

本発明の第12の態様に従えば、マスク(R)に形成されたパターンの投影光学系(PL)による像を感応基板(W1、W2)上に投影することによって感応基板を露光する投影露光装置において、感応基板(W1)を保持して2次元平面内を移動可能な第1基板ステージ(W S 1)と；感応基板(W2)を保持して前記第1基板ステージ(W S 1)と同一平面内を前記第1基板ステージ(W S 1)とは独立に移動可能な第2基板ステージ(W S 2)と；前記第1基板ステージ及び第2基板ステージ(W S 1、W S 2)の2次元位置をそれぞれ計測する干渉計システム(例えば測長軸BI 1 X～BI 4 Y)と；前記第1基板ステージと第2基板ステージとが互いに干渉する場合の前記干渉計システム(例えば測長軸BI 1 X～BI 4 Y)における干渉条件が記憶された記憶装置(91)と；前記記憶装置(91)に記憶された干渉条件に基づいて前記干渉計システム(例えば測長軸BI 1 X～BI 4 Y)の計測値をモニタしつつ前記両ステージ(W S 1、W S 2)を干渉させないように移動制御する制御装置(90)と；を有する投影露光装置が提供される。

上記投影露光装置によれば、感応基板を保持して2次元平面内を独立に移動可能な第1基板ステージと第2基板ステージのそれぞれの2次元位置を干渉計システムで計測し、記憶装置に記憶された第1基板ステージと第2基板ステージとが互いに干渉する干渉条件に基づいて、制御装置により干渉計システムの計測値をモニタしつつ両ステージを干渉させないように移動制御される。従って、2つのステージを独立して移動さ

せながら 2 つの動作を並行処理する場合であっても、2 つのステージが接触（干渉）するのを防止することができる。

上記投影露光装置において、前記投影光学系（P L）とは隔離して設けられ、前記基板ステージ（W S 1、W S 2）上の基準マーク又は前記基板ステージ（W S 1、W S 2）に保持された感応基板（W 1、W 2）上のマークを検出するアライメント系と；前記第 1 基板ステージ及び第 2 基板ステージ（W S 1、W S 2）との間で感応基板（W 1、W 2）の受け渡しを行う搬送システム（180～200）とをさらに有し、前記制御装置（90）は、前記干渉条件に基づいて前記干渉計システム（例えば測長軸 B I 1 X～B I 4 Y）の計測値をモニタしつつ、前記一方の基板ステージ（W S 1 又は W S 2）が前記搬送システム（180～200）との間で感応基板（W 1、W 2）の受け渡し動作及び前記アライメント系によるマーク検出動作のうち少なくとも一方の動作を行っている間に、前記他方の基板ステージ（W S 2 又は W S 1）が前記投影光学系（P L）により露光動作が行われるように前記 2 つの基板ステージ（W S 1、W S 2）の動作を制御する場合に、両ステージ（W S 1、W S 2）同士が干渉する位置に来た場合、前記両ステージ（W S 1、W S 2）において動作終了までの時間が長くかかる方のステージ（W S 1 又は W S 2）を両ステージ（W S 1、W S 2）が干渉しない位置関係になるまで優先的に移動させ、その間動作終了までの時間が短い方のステージ（W S 2 又は W S 1）を待機させるように制御してもよい。

このような構成によれば、制御装置により干渉条件に基づいて干渉計システムの計測値をモニタしながら、一方の基板ステージで感応基板の受け渡し動作とマーク検出動作のうち少なくとも一方の動作を行ってい

る間に、他方の基板ステージで露光動作が行われるように両基板ステージの動作を制御する際に、両ステージ同士が干渉する位置に来ると、両ステージの動作終了までの時間の長い方のステージを両ステージが干渉しない位置関係に来るまで優先的に移動させ、動作終了までの時間の短い方のステージを待機させるように制御する。従って、2つのステージを独立して移動しながら2つの動作を並行処理する最中に、例え干渉するような状況が生じたとしても、両ステージの動作終了まで時間を比較し、一方のステージを優先的に移動させて他方のステージを待機させることにより、スループットを低下させることなく2つのステージの干渉を防止することができる。

本発明の第13の態様に従えば、マスク（R）に形成されたパターンの投影光学系（PL）による像を感応基板（W1、W2）上に投影することによって感応基板を露光する投影露光装置において、感応基板（W1）を保持して2次元平面内を移動し、基準マークがその表面上に形成された第1基板ステージ（WS1）と；感応基板（W2）を保持して前記第1基板ステージ（WS1）と同一平面内を前記第1基板ステージ（WS1）とは独立に移動し、基準マークがその表面上に形成された第2基板ステージ（WS2）と；前記投影光学系（PL）とは隔離されて設けられ、前記基板ステージ（WS1又はWS2）上の基準マーク又は前記基板ステージ（WS1又はWS2）に保持された感応基板（W1又はW2）上のマークを検出するアライメント系（例えば24a）と；前記第1基板ステージ（WS1）及び前記第2基板ステージ（WS2）のうちの一方のステージ（WS1又はWS2）上の感応基板に対し前記アライメント系（24a）によるマーク検出動作を行うのに並行して、他方のステージ（WS2又はWS1）上の感応基板に対し露光を行う際に、



前記一方のステージ（WS1又はWS2）におけるマーク検出動作のうちで前記他方のステージ（WS2又はWS1）に影響を与える動作と前記他方のステージ（WS2又はWS1）における露光動作のうちで前記一方のステージ（WS1又はWS2）に影響を与える動作とを同期して行うように2つのステージ（WS1、WS2）を制御するとともに、前記第1基板ステージ（WS1）及び前記第2基板ステージ（WS2）の各々の動作のうちで互いに影響を与えない動作同士を同期して行うように前記2つの基板ステージ（WS1、WS2）の動作を制御する制御装置（90）とを有する投影露光装置が提供される。

上記投影露光装置において、制御装置が一方のステージにおけるマーク検出動作のうち他方のステージに影響を与える（外乱要因）動作と、他方のステージにおける露光動作のうち一方のステージに影響を与える（外乱要因）動作とを同期して行うように、2つのステージを制御することから、互いに影響し合う動作同士を同期させるため、それぞれのステージ上の動作に支障が出ない。また、制御装置は、両ステージの各々の動作のうちで互いに影響を与えない（非外乱要因）動作同士を同期して行うように制御することから、この場合についてもそれぞれのステージ上で行われる動作に支障が出ることがない。従って、2つの基板ステージを使ってそれぞれの基板ステージ上又は感応基板上のマークのアライメント系による位置検出動作と、投影光学系による露光動作とを並行処理することが可能となり、スループットを向上させることが可能になるとともに、2つの基板ステージ上で行われる動作が互いに影響を及ぼさないため、2つの動作を良好な状態で並行処理することが可能となる。

この場合、互いに影響を与えない動作同士の組み合わせとして種々の

ものがあるが、他方の基板ステージ（WS2又はWS1）に保持された感応基板（W2又はW1）に対する前記マスク（R）のパターン像の投影露光中に、前記一方のステージ（WS1又はWS2）上のマーク又は前記一方のステージ（WS1又はWS2）上に保持された感応基板（W1又はW2）のマークの計測を行うために前記他方のステージ（WS1又はWS2）を静止させるようにしても良い。これらの動作は、互いに影響を与えない動作同士であるから、高精度なマーク計測動作と露光動作とを支障なく並行処理することができる。

一方、互いに影響を与える動作同士の組み合わせとして種々のものがあるが、他方の基板ステージ（WS2又はWS1）を次の露光のために移動するのに同期して、前記一方の基板ステージ（WS1又はWS2）を次のマーク検出のために移動するようにしても良い。

この場合、前記マスク（R）を搭載して所定方向に移動可能なマスクステージ（RST）及び前記マスクステージ（RST）と前記第1基板ステージ（WS1）又は前記第2基板ステージ（WS2）とを前記投影光学系（PL）に対して同期走査する走査システム（例えば、38）をさらに有し、前記制御装置（90）は、前記他方の基板ステージ（WS2又はWS1）が前記マスクステージ（RST）と同期して等速移動中に、前記一方のステージ（WS1又はWS2）上のマーク又は前記一方のステージ（WS1又はWS2）上に保持された感応基板（W1又はW2）のマークの計測を行うために前記一方のステージ（WS1又はWS2）を静止させるようにしても良い。これによれば、走査システムでは露光中はマスクステージと他方の基板ステージとを同期させて等速移動させるため、マーク計測を行っている一方のステージに影響を与えない。

この他方のステージの等速移動中（露光中）にマーク計測を行っている一方のステージでは、露光中の他方ステージに影響を与えない静止状態でマーク計測を行うことから、走査露光中であっても2つのステージを使うことによって、露光動作とマーク計測動作とを支障なく並行処理することができる。

この場合において、前記第1基板ステージ及び第2基板ステージ（WS1、WS2）の各々との間で感応基板（W1又はW2）の受け渡しを行う搬送システム（180～200）をさらに有し、前記制御装置（90）は、前記一方の基板ステージが（WS1又はWS2）前記搬送システム（180～200）との間で感応基板（W1又はW2）の受け渡し動作及び前記マーク検出動作の少なくとも一方を行うのに並行して、前記他方の基板ステージ（WS2又はWS1）に保持された感応基板に対し露光動作を行う際に、前記一方の基板ステージ（WS1又はWS2）の受け渡し動作及び前記マーク検出動作のうちで前記他方のステージ（WS1又はWS2）に影響を与える動作と、前記他方のステージ（WS1又はWS2）側の露光動作のうちで前記一方のステージ（WS1又はWS2）に影響を与える動作とを同期して行うように前記2つの基板ステージ（WS1、WS2）の動作を制御するとともに、前記第1基板ステージ及び前記第2基板ステージ（WS1、WS2）の各々の動作のうちで互いに影響を与えない動作同士を同期して行うように、前記2つの基板ステージ（WS1、WS2）の動作を制御することが一層望ましい。このようにした場合は、先に説明した時間T1、時間T2及び時間T3の動作を一方のステージ側で行い、時間T4の動作を他方のステージ側で行うことが出来るので、一層スループットが向上するとともに、それら2つのステージで支障なく動作を並行処理することが可能になる。

上記投影露光装置では、アライメント系が投影光学系とは別に設けられていれば良いが、例えばアライメント系が投影光学系とは別に2つある場合は、前記アライメント系(24a、24b)は、所定方向に沿って前記投影光学系(PL)の両側にそれぞれ配置され；前記制御装置(90)は、前記第1基板ステージ及び第2基板ステージ(W S 1、W S 2)の両方の動作が終了した時点で、両ステージ(W S 1、W S 2)の動作を切り換えるようにしても良い。このように構成した場合には、中央に位置する投影光学系で一方の基板ステージ上の感応基板を露光している間に(露光動作)、他方の基板ステージ上の感応基板を一方のアライメント系を使ってマーク検出を行い(アライメント動作)、露光動作とアライメント動作とを切り換える場合は、2つの基板ステージを前記所定方向に沿って他方のアライメント系の方に移動させるだけで、投影光学系の下にあった一方の基板ステージを他方のアライメント系位置に移動させ、一方のアライメント系位置にあった他方の基板ステージを投影光学系の下まで移動させることを容易に行うことができ、このようにして2つのアライメント系を支障なく交互に使用することが可能になる。

本発明の第14の態様に従えば、マスク(R)のパターンの投影光学系(PL)による像を感応基板(W 1、W 2)上に投影することによって感応基板を露光する投影露光方法において、感応基板(W 1、W 2)を保持して2次元平面内を各々独立に移動し、基準マークがそれぞれ表面上に形成された2つの基板ステージを用意し、前記一方のステージ(W S 1又はW S 2)に保持された感応基板(W 1又はW 2)に対する前記マスクのパターン像の投影中に、前記他方のステージ(W S 2又はW S 1)を静止させて前記他方のステージ(W S 2又はW S 1)上の基準

マーク又は前記他方のステージ（WS2又はWS1）上に保持された感応基板（W1又はW2）上のマークを検出することを特徴とする投影露光方法が提供される。

この投影露光方法によれば、2つの基板ステージのうち、一方のステージに保持された感応基板に対するマスクのパターン像の投影露光中に、他方のステージを静止させて他方のステージ上の基準マーク又は他方のステージ上に保持された感応基板上のアライメントマークを検出するようにする。従って、2つのステージを使って一方のステージで投影露光動作を行っている間に、他方のステージでは静止状態でマーク検出動作を行うようにするため、互いに他のステージで行われる動作の影響を受けることなく高精度な露光動作とマーク検出動作とを並行処理してスループットを向上させるができる。

本発明の第15の態様に従えば、マスク（R）のパターンの投影光学系（PL）による像を感応基板（W1、W2）上に投影することによって感応基板を露光する投影露光方法において、感応基板（W1、W2）を保持して同一の2次元平面内を各々独立に移動可能な2つの基板ステージを用意し、前記2つの基板ステージ（WS1、WS2）のうちの一方のステージ（WS1又はWS2）に保持された感応基板（W1、W2）上の複数ヶ所に前記マスク（R）のパターン像を順次投影露光するのに並行して、他方のステージ（WS2又はWS1）上に保持された感応基板（W1、W2）上の複数のマークを順次検出する場合、前記2つの基板ステージ（WS1、WS2）が干渉しないように前記他方のステージ（WS2又はWS1）に保持された感応基板（W1、W2）上のマークの検出順序を決定することを特徴とする投影露光方法が提供される。

これによれば、感応基板を保持して2次元平面内を独立して移動可能な2つの基板ステージのうち、一方のステージの感応基板上の複数ヶ所にマスクのパターン像を順次投影露光するのと並行して、他方のステージ上に保持された感応基板上の複数のマークが順次検出される場合、2つの基板ステージ同士が干渉しないように他方のステージに保持された感応基板上のマーク検出順序を決定するようにする。従って、順次投影露光が行われる方のステージの動きに合わせて、マーク検出順序が決定されるため、2つのステージ同士の干渉が防止されるとともに、動作を並行処理することによりスループットを向上させることができる。

本発明の第16の態様に従えば、照明光（EL）で照明された照明領域（IA）に対してマスク（R）を走査方向に移動させるのと同期して前記照明領域（IA）に共役な露光領域（IF）に対して感応基板（W）を前記走査方向に移動させることにより前記マスク（R）のパターン像で前記感応基板（W）を露光する走査型の投影露光装置において、感応基板（W）を保持して2次元平面内を移動可能な基板ステージ（WS）と；前記露光領域（IF）に対して前記走査方向の一方側と他方側に前記走査方向に直交する非走査方向の幅が前記露光領域（IF）より広い検出領域をそれぞれ有し、該各検出領域内に前記非走査方向に沿って設定された複数の検出点（例えば、FA1～FA9）の少なくとも1つで前記感応基板（W）面の所定基準面に対する相対位置を検出する位置検出系（151、161）と；前記基板ステージ（WS）に設けられ、ステージ（WS）上に保持された感応基板（W）の面位置を調整するための基板駆動系（LS）と；前記基板ステージ（WS）上に保持された感応基板（W）を露光する際に、前記位置検出系（151、161）の検



出結果に基づいて前記基板駆動系（LS）を制御する制御装置（90）とを有する投影露光装置が提供される。

この投影露光装置によれば、位置検出系が露光領域に対して走査方向の一方側と他方側にそれぞれ走査方向に直交する非走査方向に配列され、その非走査方向の幅が露光領域よりも広い検出領域を有しており、各検出領域内の非走査方向に沿って設定された複数の検出点の少なくとも1つで感応基板面の所定基準面に対する相対位置を検出し、制御装置では基板ステージ上に保持された感応基板を露光する際に、位置検出系の検出結果に基づいて基板駆動系を制御する。このため、例えば、従来の露光領域と同一幅の検出領域しか持たない先読みセンサでは、感応基板の外側から内側へ走査する場合、感応基板の外周近傍の領域では先読み制御が困難であったのと異なり、このような場合でも、露光領域の外側にはみ出した検出領域部分の検出点により隣接部の感応基板面の所定基準面に対する相対位置を検出することが可能であり、この検出データに基づいて基板駆動系を制御することにより感応基板の面位置を調整することが可能となる。従って、感応基板の走査方向の変更によるスループット低下を防止することができるとともに、上記検出データの活用によりフォーカス制御の追い込みが可能となる。

あるいは、基板外周部のあるショット領域の露光中にその隣接するショット領域の面位置情報を露光領域の外側にはみ出した走査方向一方と他方側の検出領域部分の検出点により検出し、これを記憶しておくことにより、前記隣接するショット領域の露光の際に、仮にこの隣接ショットが、前述した従来の先読みセンサによる先読み制御が困難なショット領域であっても、記憶した面位置情報に基づいて迅速なフォーカスの追

い込みが可能になる。

この場合において、制御装置（90）では、位置検出系の検出結果の内感応基板の走査方向に向かって露光領域の手前に設定された検出領域内の複数の検出点（例えば、FA1～FA9）の少なくとも1つの検出結果に基づいて基板駆動系（LS）を制御するようにしても良い。すなわち、位置検出系を先読みセンサとしてのみ用いても良い。

また、感応基板の面位置を調整するために基板駆動系の制御を開始する時期として種々の時期が考えられるが、制御装置（90）は、感応基板（W）の外周近傍のショット領域（212）を感応基板（W）の外側から内側に向かって走査露光する際に、複数の検出点（例えば、FA1～FA9）の内の少なくとも1つが感応基板（W）上の有効領域内にかかった時点から、感応基板（W）上にかかる検出点（FA1～FA9）の検出結果に基づいて感応基板（W）の面位置調整のため基板駆動系（LS）の制御を開始するようにしても良い。これは、検出点の少なくとも1つが有効領域にかかった状態から基板駆動系の制御を開始することにより、迅速な面位置の追い込み（フォーカスの追い込み）が可能になるからである。

また、ショット領域にかかる検出点が1点である場合に基板駆動系を介して感応基板の面位置（傾きを含む）を調整するにあたって、制御装置（90）は、感応基板（W）の外周近傍のショット領域（212）を走査露光する際に、当該ショット領域（212）にかかる検出点（例えば、FA3～FA7）が1点である場合には所定の固定値に基づいて基板駆動系（LS）を介して感応基板（W）の傾きを調整するようにして

も良い。例えば、所定の固定値として傾き零が挙げられ、この場合には上記検出点で検出された基準面に直交する方向の面位置を含む水平面に感応基板表面が設定されることになる。従って、検出点が1点であってもフォーカス制御に加え、レベリング制御を行うことが可能になる。

あるいは、制御装置(90)は、感応基板(W)の外周近傍のショット領域(212)を走査露光する際に、当該ショット領域(212)にかかる検出点(例えば、FA3～FA7)が1点である場合には当該ショット領域(212)に隣接するショット領域上にかかる他の検出点(例えば、FA1、FA2、FA8、FA9)の検出結果と1点の検出結果とに基づいて基板駆動系(LS)を介して感応基板(W)の傾きを調整するようにしても良い。このように、隣接ショット領域上の検出結果と1点の検出結果とを用いることにより、露光ショット領域内の検出点が1点であっても、ある程度正確なフォーカス、レベリング制御を行うことが可能になる。また、制御装置(90)は、感応基板(W)上の複数のショット領域(212)毎に、複数の検出点(例えば、FA1～FA9)の内のいずれの検出点の検出結果を用いるかを予め決定し、感応基板(W)上のあるショット領域(212)を走査露光する際には、当該ショット領域(212)に対して決定された検出点の検出結果のみを用いて前記基板駆動系(LS)を介して前記感応基板(W)の面位置を調整しても良い。このように、各ショット領域に応じた面位置の検出に適した検出点を予め決めておくことにより、効率の良い誤差の少ない面位置調整(フォーカス・レベリング制御)が可能になる。

感応基板上の有効領域は、感応基板(W)上の全面または感応基板(W)の周縁部に定められた禁止帯(パターン禁止帯)の内側であること

が望ましい。この場合、少なくとも1つの検出点が感応基板、あるいは感応基板の周縁部に定められた禁止帯の内側にかかった時点から感応基板の面位置を調整するための基板駆動系の制御が開始されることになる。特に、感応基板の周縁部に定められた禁止帯の内側とすることにより、感応基板の外周付近の反りやゴミの影響を受け難くなるため、一層正確に感応基板の面位置を検出することができる。

また、有効領域か否かを判断する判断基準としては種々のものがあるが、例えば、制御装置(90)は、感応基板(W)の外周位置情報、位置検出系(151、161)の各検出点(例えば、FA1～FA9)の位置情報、及び露光対象のショット領域(212)の位置情報に基づいて、位置検出系(151、161)の検出点(FA1～FA9)のいずれが感応基板(W)上の有効領域にかかっているか否かを判断するようにしても良い。これにより、位置検出系のいずれの検出点が感応基板上の有効領域にかかっているか否かを正確に判断することが可能となり、基板駆動系による感応基板の面位置調整の制御を正確に開始させることができる。

さらに、有効領域か否かを判断する判断基準としては、例えば、制御装置(90)は、位置検出系(151、161)の複数の検出点(例えば、FA1～FA9)の検出結果をそれぞれ所定の許容値と比較することにより、位置検出系(151、161)の検出点(FA1～FA9)のいずれが感応基板(W)上の有効領域にかかっているか否かを判断するようにしても良い。この場合は、所定の許容値の範囲内に検出値が入っているか否かで有効領域か否かを判断するもので、有効領域内でも感応基板の反りやゴミ等の影響による誤差要因がある場合、許容値の範囲

外であればこれを除去することが可能なため、不測の事態にも対処できる利点がある。

また、制御装置により基板駆動系を介して感応基板の傾き調整を開始する時期として、例えば、感応基板（W）の外周近傍のショット領域（212）を走査露光する際に、当該ショット領域（212）にかかる検出点（例えば、FA1～FA9）が複数になった時点から、当該ショット領域（212）にかかる検出点（FA1～FA9）の検出結果だけに基づく感応基板（W）の傾き調整を基板駆動系（LS）を介して開始しても良い。これにより、当該ショット領域にかかる検出点が複数になった場合は、ショット領域の面の傾きがわかるため、正確なレベリング制御を行うことが可能になる。

また、位置検出系のどの検出点がいずれのショット領域にかかっているか否かを判断する判断基準として種々のものがあるが、例えば、制御装置（90）は、感応基板（W）の外周位置情報、位置検出系（151、161）の各検出点（例えば、FA1～FA9）の位置情報、及び露光対象のショット領域（212）の位置情報に基づいて、位置検出系（151、161）の検出点のいずれが当該ショット領域（212）にかかっているか否かを判断するようにしても良い。これにより、位置検出系のいずれの検出点が感応基板上のいずれのショット領域にかかっているか否かを正確に判断することができるため、請求項9又は10に記載の発明において、ショット領域にかかる検出点の数を正確に判断することができる。また、制御装置（90）は、感応基板（W）の外周近傍のショット領域（212）を走査露光する際に、当該ショット領域（212）にかかる検出点（例えば、FA1～FA9）が1点である場合には1点

の検出点（F A 1 ～ F A 9 の内の 1 点）とこれに隣接する少なくとも 1 点の検出点（F A 1 ～ F A 9 の内の隣接する点）とを含む所定数の検出点（F A 1 ～ F A 9）の検出結果に基づいて基板駆動系（L S）を介して感応基板（W）の傾き調整を開始し、その後、傾き調整に使用する検出点（F A 1 ～ F A 9）を順次当該ショット領域（2 1 2）内部側にシフトするようにしても良い。当該ショット領域にかかる検出点が 1 点であっても、その 1 点の検出点に隣接する少なくとも 1 点の検出点を含む検出点の検出結果に基づいて感応基板の傾き調整を開始し、当該ショット領域内部の検出点が増えるに従って傾き調整に使用する検出点を順次当該ショット領域内部側にシフトすることにより、より正確な傾き調整を行うことができる。

本発明の第 1 7 の態様に従えば、照明光（E L）で照明された照明領域（I A）に対してマスク（R）を走査方向に移動させるのと同期して前記照明領域（I A）に共役な露光領域（I F）に対して感応基板（W）を前記走査方向に移動させることにより前記マスク（W）のパターン像で前記感応基板（W）を露光する走査露光方法において、該感応基板（W）の走査露光の際に、前記露光領域（I F）に対して前記走査方向の一方側と他方側にそれぞれ位置する前記走査方向に直交する非走査方向の幅が前記露光領域（I F）より広い検出領域（A B E、A F E）内に前記非走査方向に沿って複数のスリット像が配置されるように、所定角度傾斜した方向から前記感応基板（W）表面にスリット像を投影し、前記感応基板（W）からの前記各スリット像の反射光束を受光し、その光電変換信号に基づいて前記スリット像が投影される各検出点（例えば、A F 1 ～ A F 9）における前記感応基板（W）面の所定の基準面からの相対位置をそれぞれ算出し、この算出結果に基づいて前記露光領域（I



F) 内における前記感応基板(W)の面位置を調整することを特徴とする走査露光方法が提供される。

この走査露光方法によれば、感応基板を走査露光する際に、露光領域に対して走査方向の一方側と他方側にそれぞれ位置する走査方向に直交する非走査方向の幅が露光領域よりも広い検出領域内に非走査方向に沿って複数のスリット像が配置されるように、所定角度傾斜した方向から感応基板表面にスリット像が投影され、感応基板からの各スリット像の反射光束が受光して得られる光電変換信号に基づいてスリット像が投影される各検出点における感応基板面の所定の基準面からの相対位置がそれぞれ算出される。そして、この算出結果に基づいて露光領域内における感応基板の面位置が調整される。このため、例えば、感応基板の外周近傍の領域を露光する際に感応基板の外側から内側へ走査する場合に、露光領域の外側にはみ出した検出点におけるスリット像の反射光束の光電変換信号に基づいてその検出点における感応基板面の所定の基準面からの相対位置を算出することができる。この結果、前記露光領域の外側にはみ出した検出点により隣接部の感応基板面の所定基準面に対する相対位置を算出することが可能であり、この算出結果に基づいて感応基板の面位置を調整することが可能となり、感応基板の走査方向の変更によるスループット低下を防止することができるとともに、上記算出データの活用によりフォーカス制御の追い込みが可能となる。

本発明の第18の態様に従えば、照明光(EL)で照明された照明領域(IA)に対してマスク(R)を走査方向に移動させるのと同期して前記照明領域(IA)に共役な露光領域(IF)に対して感応基板(W1又はW2)を前記走査方向に移動させることにより、前記感応基板(

W 1 又は W 2 ) 上の複数のショット領域 ( 2 1 0 ) の各々を前記マスク ( R ) のパターンの投影光学系 ( P L ) による像で露光する投影露光方法において、前記感応基板 ( W 1 又は W 2 ) 上の複数のショット領域 ( 2 1 0 ) の内前記露光領域 ( I F ) に対して前記感応基板 ( W 1 又は W 2 ) の外側から内側へ走査されるように設定された外周近傍のショット領域 ( 2 1 0 ) を含むように、前記複数のショット領域 ( 2 1 0 ) の内の幾つかをサンプルショット領域として選択し；前記幾つかのサンプルショット領域の座標位置をそれぞれ計測し；前記幾つかのサンプルショット領域の座標位置を計測する際に前記幾つかのサンプルショット領域毎に前記感応基板 ( W 1 又は W 2 ) の所定基準面に対する相対位置を検出し；前記計測されたサンプルショット領域の座標位置に基づいて前記感応基板 ( W 1 又は W 2 ) 上の複数のショット領域 ( 2 1 0 ) の配列を決定し；前記露光領域 ( I F ) に対して前記感応基板 ( W 1 又は W 2 ) の外側から内側へ走査されるように設定された外周近傍のショット領域 ( 2 1 0 ) を各々露光するときに、前記決定されたショット領域 ( 2 1 0 ) の配列に基づいて前記マスク ( R ) のパターン像との位置合わせを行うとともに、前記座標位置の計測の際に検出された相対位置に基づいて前記感応基板 ( W 1 又は W 2 ) の面位置を調整することを特徴とする投影露光装置が提供される。

この投影露光装置によれば、感応基板上の複数のショット領域の内の露光領域に対して感応基板の外側から内側へ走査されるように設定された外周近傍のショット領域を含むように、複数のショット領域の内の幾つかがサンプルショット領域として選択される。そして、その幾つかのサンプルショット領域の座標位置がそれぞれ計測され、この幾つかのサンプルショット領域の座標位置が計測される際に幾つかのサンプルショ

ット領域毎に感応基板の所定基準面に対する相対位置が検出される。次いで、計測されたサンプルショット領域の座標位置に基づいて感応基板上の複数のショット領域の配列が決定される。

そして、露光領域に対して感応基板の外側から内側へ走査されるように設定された外周近傍のショット領域を各々露光するときには、上で決定されたショット領域の配列に基づいて該ショット領域のマスキングパターン像との位置合わせが行われるとともに、座標位置の計測の際に検出された相対位置に基づいて感応基板の面位置が調整される。

このため、露光領域に対して感応基板の外側から内側へ走査されるように設定された外周近傍のショット領域を各々露光する場合であっても、座標位置の計測の際に検出された相対位置に基づいて感応基板の面位置を調整することができるので、このようなショット領域の露光に際してその走査方向を内側から外側へ変えてスループットを犠牲にするというような不都合を回避することができる。

この場合において、外周近傍のサンプルショット領域の座標位置を計測する際に、必ずしも露光時と同一方向に感応基板を移動させて感応基板の所定基準面に対する相対位置を検出しなくても良いが、サンプルショット領域の内の露光領域（IF）に対して感応基板（W1又はW2）の外側から内側へ走査されるように設定された外周近傍のショット領域（210）の座標位置を計測する際に、露光時と同じ方向に感応基板（W1又はW2）を移動しながら感応基板（W1又はW2）の所定基準面に対する相対位置を検出するようにすることが望ましい。このようにする場合には、感応基板（W1又はW2）の移動方向に依存するオフセッ

ト等が除去されたフォーカス制御を行うことが可能となるからである。

上記の各態様の暴露装置、投影露光装置及び露光方法は、ステップ・アンド・スキャン型の投影露光において極めて有効であり、特に露光時に高分解能が要求される二重露光を行う場合に好適である。

#### 図面の簡単な説明

図1は本第1の実施形態にかかる投影露光装置の概略構成を示す図である。

図2は2つのウエハステージとレチクルステージと投影光学系とアライメント系の位置関係を示す斜視図であり、ウエハステージWS1が位置情報計測セクションに存在しウエハステージWS2が露光（暴露）セクションに存在する場合を示す。

図3はウエハステージの駆動機構の構成を示す平面図である。

図4は投影光学系とアライメント系にそれぞれ設けられているAF／AL系を示す図である。

図5はAF／AL系とTTRアライメント系の構成を示す投影露光装置の概略構成を示す図である。

図6は図5のパターン形成板の形状を示す図である。

図7は2つのウエハステージを使ってウエハ交換・アライメントシーケンスと露光シーケンスとが行われている状態を示す平面図である。

図8は図7のウエハ交換・アライメントシーケンスと露光シーケンスとの切り換えを行った状態を示す図である。

図9は2枚のレチクルを保持する二重露光用のレチクルステージを示す図である。

図10Aは図9のパターンAのレチクルを使ってウエハの露光を行っ

た状態を示す図であり、図 10 B は図 9 のパターン B のレチクルを使ってウエハの露光を行った状態を示す図である。

図 11 は 2 つのウエハステージの一方に保持されたウエハ上の各ショット領域毎の露光順序を示す図である。

図 12 は 2 つのウエハステージの他方に保持されたウエハ上の各ショット領域毎のマーク検出順序を示す図である。

図 13 はウエハ内に全てのショット配列が入っている場合のスキャン型投影露光装置の露光順序を示すウエハの平面図である。

図 14 A は図 13 の A 位置において先読み用の A F 計測を行う拡大平面図である。

図 14 B は図 13 の B 位置において先読み用の A F 計測を行う拡大平面図である。

図 14 C は図 13 中の C 位置において先読み用の A F 計測を行う拡大平面図である。

図 15 はウエハ外周近傍のショット領域における比較例の先読み制御結果を示す線図である。

図 16 はウエハ内に全てのショット配列が入っている場合のスキャン型投影露光装置のアライメント順序を示すウエハの平面図である。

図 17 は第 1 の実施形態における先読み制御結果を示す線図である。

図 18 は第 1 の実施形態において計測再現性に誤差がある場合の先読み制御結果を示す線図である。

図 19 A はアライメント系による基準マーク板上の基準マークの検出動作を説明するための図であって、アライメント系 24 a の真下に基準マーク板 F M 1 上の基準マーク M K 2 が位置づけられた様子を示す図である。

図 19 B は基準マーク M K 2 の形状の一例及びそれをアライメント系

24aのFIA系センサで検出する画像取り込みの様子を示す図である。

図19CはマークMK2の画像をFIA系のセンサで取り込んだ際に画像処理系にて得られた波形信号を示す図である。

図20Aはレチクルアライメント顕微鏡による基準マーク板上マークの計測動作を説明するための図であって、レチクルアライメント顕微鏡により露光光を用いて基準マーク板FM1上マークMK1, MK3とそれに対応するレチクル上マークRMK1, RMK3のウエハ面上投影像の相対位置検出を行なっている様子を示す図である。

図20BはレチクルR上のマークRMKのウエハ面上投影像を示す図である。

図20Cは基準マーク板上のマークMKを示す図である。

図20Dは図20Aにおける画像取り込みの様子を示す図である。

図20Eは取り込まれた画像が処理され得られた波形信号を示す図である。

図21は最終的に算出された露光位置と各ショットの相対位置関係に応じてウエハ上の各ショットの露光が行なわれる状態を示す概念図である。

図22は第2の実施形態の動作を説明するための図であって、ウエハステージWS1上ウエハW1のアライメントが終了した後に測長軸BI3Yを有する干渉計のリセットを行なっている様子を示す図である。

図23は第2の実施形態の動作を説明するための図であって、ウエハステージWS1がローディングポジションまで移動され、ウエハステージWS2側で露光シーケンスの動作が行なわれている時の様子を示す図である。

図24は2つのウエハステージ上で外乱要因動作と非外乱要因動作とを行う場合のタイミング制御動作を説明するフローチャートである。



図 2 5 A は、2 つのウエハステージ同士を独立して移動制御する際の非干渉条件を説明するステージの平面図である。

図 2 5 B は、2 つのウエハステージ同士を独立して移動制御する際の干渉条件を説明するステージの平面図である。

図 2 6 は干渉条件を満たす場合と満たさない場合における 2 つのウエハステージの移動制御動作を説明するフローチャートである。

図 2 7 A は、アライメントを行うサンプルショットを示すウエハの平面図である。

図 2 7 B は、露光を行うショット領域 S A を示すウエハの平面図である。

図 2 8 A は、アライメントシーケンスを行う際のショット順序を示すウエハの平面図である。

図 2 8 B は、露光シーケンスを行う際の露光順序を示すウエハの平面図である。

図 2 9 は第 2 の実施形態に係る投影露光装置の概略構成を示す図である。

図 3 0 は露光領域に対する先読み制御用の A F 検出点の配置を示す斜視図である。

図 3 1 は図 3 0 を走査方向から見た側面図である。

図 3 2 は図 3 1 の平面図である。

図 3 3 は図 3 2 を非走査方向から見た側面図である。

図 3 4 は第 2 の実施形態に係る A F / A L 系を用いた先読み制御法を説明するウエハ W の平面図である。

図 3 5 はフォーカス計測時における露光領域 I F と A F 検出点の位置関係が示されている。

図 3 6 はショット領域 S A 毎の A F 計測に使用する A F 検出点位置を

指定するための選択図である。

図 3 7 は A グループに属するショット領域 S A を露光する際に使用する A F 検出点とウエハ面の先読み制御開始時の位置を示す図である。

図 3 8 は使用する A F 検出点の数を変えずに A F 検出点を移動させてウエハ面のフォーカス計測を行う場合の A F 検出点を示す図である。

図 3 9 は計測可能な A F 検出点を全て使用してウエハ面のフォーカス計測を行う場合の A F 検出点を示す図である。

図 4 0 は C グループに属するショット領域 S A を露光する際に使用する A F 検出点とウエハ面の先読み制御開始時の位置を示す図である。

図 4 1 は図 4 0 における先読み制御結果を示す線図である。

図 4 2 はウエハ W の外周よりショット配列の方が大きい場合の先読み制御に関する比較例を示す図である。

図 4 3 はウエハ W の外周よりショット配列の方が大きい場合の先読み制御に関する比較例を示す図である。

図 4 4 は第 5 の実施形態に係る露光装置の全体構成を概略的に示す図である。

図 4 5 は図 4 4 の一方のウエハステージの概略平面図である。

図 4 6 は図 4 4 の装置の概略平面図である。

図 4 7 は図 4 4 の装置における動作の流れを示す図である。

図 4 8 は第 6 の実施形態に露光装置の主要部の構成を示す概略平面図である。

発明を実施するための最良の形態

[第 1 の実施形態]

以下、本発明の第 1 の実施形態を図 1 ないし図 1 8 に基づいて説明する。

図 1 には、第 1 の実施形態に係る投影露光装置 10 の概略構成が示されている。この投影露光装置 10 は、いわゆるステップ・アンド・スキャン方式の走査露光型の投影露光装置である。ステップ・アンド・スキャン方式の投影露光装置の構造及び制御法は、米国特許第 5, 646, 413 号や米国特許第 5, 448, 332 号に開示されており、この開示を援用して本文の記載の一部とする。

この投影露光装置 10 は、ベース盤 12 上を感応基板としてのウエハ W1、W2 をそれぞれ保持して独立して 2 次元方向に移動する第 1、第 2 の基板ステージとしてのウエハステージ WS1、WS2 を備えたステージ装置、このステージ装置の上方に配置された投影光学系 PL、投影光学系 PL の上方でマスクとしてのレチクル R を主として所定の走査方向、ここでは Y 軸方向（図 1 における紙面直交方向）に駆動するレチクル駆動機構、レチクル R を上方から照明する照明系及びこれら各部を制御する制御系等を備えている。

前記ステージ装置は、ベース盤 12 上に不図示の空気軸受けを介して浮上支持され、X 軸方向（図 1 における紙面左右方向）及び Y 軸方向（図 1 における紙面直交方向）に独立して 2 次元移動可能な 2 つのウエハステージ WS1、WS2 と、これらのウエハステージ WS1、WS2 を駆動するステージ駆動系と、ウエハステージ WS1、WS2 の位置を計測する干渉計システムとを備えている。図 2 に示すようにウエハステージ WS1 が位置情報計測セクション PIS に存在しウエハステージ WS2 が露光（暴露）セクション EPS に存在する場合を示す。ウエハステージ WS1、WS2 はいずれもそれらのセクション PIS 及び EPS と

の間を移動可能である。

これをさらに詳述すると、ウエハステージWS 1、WS 2の底面には不図示のエアパッド（例えば、真空予圧型空気軸受け）が複数ヶ所に設けられており、このエアパッドの空気噴き出し力と真空予圧力とのバランスにより例えば数ミクロンの間隔を保った状態で、ベース盤1 2上に浮上支持されている。

ベース盤1 2上には、図3の平面図に示されるように、X軸方向に延びる2本のX軸リニアガイド（例えば、いわゆるムービングコイル型のリニアモータの固定側マグネットのようなもの）1 2 2、1 2 4が平行に設けられており、これらのX軸リニアガイド1 2 2、1 2 4には、当該各X軸リニアガイドに沿って移動可能な各2つの移動部材1 1 4、1 1 8及び1 1 6、1 2 0がそれぞれ取り付けられている。これら4つの移動部材1 1 4、1 1 8、1 1 6、1 2 0の底面部には、X軸リニアガイド1 2 2又は1 2 4を上方及び側方から囲むように不図示の駆動コイルがそれぞれ取り付けられており、これらの駆動コイルとX軸リニアガイド1 2 2又は1 2 4とによって、各移動部材1 1 4、1 1 6、1 1 8、1 2 0をX軸方向に駆動するムービングコイル型のリニアモータが、それぞれ構成されている。但し、以下の説明では、便宜上、上記移動部材1 1 4、1 1 6、1 1 8、1 2 0をX軸リニアモータと呼ぶものとする。

この内2つのX軸リニアモータ1 1 4、1 1 6は、Y軸方向に延びるY軸リニアガイド（例えば、ムービングマグネット型のリニアモータの固定側コイルのようなもの）1 1 0の両端にそれぞれ設けられ、また、残り2つのX軸リニアモータ1 1 8、1 2 0は、Y軸方向に延びる同様

のY軸リニアガイド112の両端に固定されている。従って、Y軸リニアガイド110は、X軸リニアモータ114、116によってX軸リニアガイド122、124に沿って駆動され、またY軸リニアガイド112は、X軸リニアモータ118、120によってX軸リニアガイド122、124に沿って駆動されるようになっている。

一方、ウエハステージWS1の底部には、一方のY軸リニアガイド110を上方及び側方から囲む不図示のマグネットが設けられており、このマグネットとY軸リニアガイド110とによってウエハステージWS1をY軸方向に駆動するムービングマグネット型のリニアモータが構成されている。また、ウエハステージWS2の底部には、他方のY軸リニアガイド112を上方及び側方から囲む不図示のマグネットが設けられており、このマグネットとY軸リニアガイド112とによってウエハステージWS2をY軸方向に駆動するムービングマグネット型のリニアモータが構成されている。

すなわち、本第1の実施形態では、上述したX軸リニアガイド122、124、X軸リニアモータ114、116、118、120、Y軸リニアガイド110、112及びウエハステージWS1、WS2底部の不図示のマグネット等によってウエハステージWS1、WS2を独立してXY2次元駆動するステージ駆動系が構成されている。このステージ駆動系は、図1のステージ制御装置38によって制御される。

なお、Y軸リニアガイド110の両端に設けられた一対のX軸リニアモータ114、116のトルクを若干可変する事で、ウエハステージWS1に微小ヨーイングを発生させたり、除去する事も可能である。同様

に、Y軸リニアガイド112の両端に設けられた一对のX軸リニアモータ118、120のトルクを若干可変する事で、ウエハステージWS2に微小ヨーイングを発生させたり、除去する事も可能である。

前記ウエハステージWS1、WS2上には、不図示のウエハホルダを介してウエハW1、W2が真空吸着等により固定されている。ウエハホルダは、不図示のZ・ $\theta$ 駆動機構によって、XY平面に直交するZ軸方向及び $\theta$ 方向（Z軸回りの回転方向）に微小駆動されるようになっている。また、ウエハステージWS1、WS2の上面には、種々の基準マークが形成された基準マーク板FM1、FM2がウエハW1、W2とそれぞれほぼ同じ高さになるように設置されている。これらの基準マーク板FM1、FM2は、例えば各ウエハステージの基準位置を検出する際に用いられる。

また、ウエハステージWS1のX軸方向一侧の面（図1における左側面）20とY軸方向一侧の面（図1における紙面奥側の面）21とは、鏡面仕上げがなされた反射面となっており、同様に、ウエハステージWS2のX軸方向他側の面（図1における右側面）22とY軸方向の一侧の面23とは、鏡面仕上げがなされた反射面となっている。これらの反射面に、後述する干渉計システムを構成する各測長軸（BI1X、BI2X等）の干渉計ビームが投射され、その反射光を各干渉計で受光することにより、各反射面の基準位置（一般には投影光学系側面やアライメント光学系の側面に固定ミラーを配置し、そこを基準面とする）からの変位を計測し、これにより、ウエハステージWS1、WS2の2次元位置がそれぞれ計測されるようになっている。なお、干渉計システムの測長軸の構成については、後に詳述する。



前記投影光学系 P L としては、ここでは、Z 軸方向の共通の光軸を有する複数枚のレンズエレメントから成り、両側テレセントリックで所定の縮小倍率、例えば 1 / 5 を有する屈折光学系が使用されている。このため、ステップ・アンド・スキャン方式の走査露光時におけるウエハステージの走査方向の移動速度は、レチクルステージの移動速度の 1 / 5 となる。

この投影光学系 P L の X 軸方向の両側には、図 1 に示されるように、同じ機能を持ったオフアクシス (off-axis) 方式のアライメント系 2 4 a、2 4 b が、投影光学系 P L の光軸中心 (レチクルパターン像の投影中心と一致) よりそれぞれ同一距離だけ離れた位置に設置されている。これらのアライメント系 2 4 a、2 4 b は、L S A (Laser Step Alignment) 系、F I A (Field Image Alignment) 系、L I A (Laser Interferometric Alignment) 系の 3 種類のアライメントセンサを有しており、基準マーク板上の基準マーク及びウエハ上のアライメントマークの X、Y 2 次元方向の位置計測を行うことが可能である。L S A 及び L I A は米国特許第 5, 1 5 1, 7 5 0 号に開示されており、F I A は米国特許第 5, 4 9 3, 4 0 3 号に開示されており、それらの開示を援用して本文の記載の一部とする。

ここで、L S A 系は、レーザ光をマークに照射して、回折・散乱された光を利用してマーク位置を計測する最も汎用性のあるセンサであり、従来から幅広いプロセスウエハに使用される。F I A 系は、ハロゲンランプ等のブロードバンド (広帯域) 光でマークを照明し、このマーク画像を画像処理することによってマーク位置を計測するセンサであり、ア

ルミ層やウエハ表面の非対称マークに有効に使用される。また、LIA系は、回折格子状のマークに周波数をわずかに変えたレーザ光を2方向から照射し、発生した2つの回折光を干渉させて、その位相からマークの位置情報を検出するセンサであり、低段差や表面荒れウエハに有効に使用される。

本第1の実施形態では、これら3種類のアライメントセンサを、適宜目的に応じて使い分け、ウエハ上の3点の一次元マークの位置を検出してウエハの概略位置計測を行ういわゆるサーチアライメントや、ウエハ上の各ショット領域の正確な位置計測を行うファインアライメント等を行うようになっている。

この場合、アライメント系24aは、ウエハステージWS1上に保持されたウエハW1上のアライメントマーク及び基準マーク板FM1上に形成された基準マークの位置計測等に用いられる。また、アライメント系24bは、ウエハステージWS2上に保持されたウエハW2上のアライメントマーク及び基準マーク板FM2上に形成された基準マークの位置計測等に用いられる。

これらのアライメント系24a、24bを構成する各アライメントセンサからの情報は、アライメント制御装置80によりA/D変換され、デジタル化された波形信号を演算処理してマーク位置が検出される。この結果が制御装置としての主制御装置90に送られ、主制御装置90からその結果に応じてステージ制御装置に対し露光時の同期位置補正等が指示されるようになっている。

さらに、本第1の実施形態の露光装置10では、図1では図示を省略したが、レチクルRの上方に、図5に示されるような、投影光学系PLを介してレチクルR上のレチクルマーク（図示省略）と基準マーク板FM1、FM2上のマークとを同時に観察するための露光波長を用いたTTR（Through The Reticle）アライメント光学系から成る一对のレチクルアライメント顕微鏡142、144が設けられている。これらのレチクルアライメント顕微鏡142、144の検出信号は、主制御装置90に供給されるようになっている。この場合、レチクルRからの検出光をそれぞれレチクルアライメント顕微鏡142及び144に導くための偏向ミラー146及び148が移動自在に配置され、露光シーケンスが開始されると、主制御装置90からの指令のもとで、不図示のミラー駆動装置によりそれぞれ偏向ミラー146及び148が待避される。なお、レチクルアライメント顕微鏡142、144と同等の構成は、例えば米国特許第5,646,413号に対応する特開平7-176468号公報等の開示されているのでここでは詳細な説明については省略する。

また、図1では図示を省略したが、投影光学系PL、アライメント系24a、24bのそれぞれには、図4に示されるように、合焦位置を調べるためのオートフォーカス／オートレベリング計測機構（以下、「AF／AL系」という）130、132、134が設けられている。この内、第2の検出系としてのAF／AL系132は、スキャン露光によりレチクルR上のパターンをウエハ（W1又はW2）上に正確に転写するには、レチクルR上のパターン形成面とウエハWの露光面とが投影光学系PLに関して共役になっている必要があることから、ウエハWの露光面が投影光学系PLの像面に焦点深度の範囲内で合致しているかどうか（合焦しているかどうか）を検出するために、設けられているものであ

る。本第 1 の実施形態では、A F / A L 系 1 3 2 として、いわゆる多点 A F 系が使用されている。A F / A L 系は、米国特許打第 5 , 5 0 2 , 3 1 1 号に開示されており、その開示を援用して本文の記載の一部とする。

ここで、この A F / A L 系 1 3 2 を構成する多点 A F 系の詳細構成について、図 5 及び図 6 に基づいて説明する。この A F / A L 系（多点 A F 系） 1 3 2 は、図 5 に示されるように、光ファイバ束 1 5 0 、集光レンズ 1 5 2 、パターン形成板 1 5 4 、レンズ 1 5 6 、ミラー 1 5 8 及び照射対物レンズ 1 6 0 から成る照射光学系 1 5 1 と、集光対物レンズ 1 6 2 、回転方向振動板 1 6 4 、結像レンズ 1 6 6 、受光器 1 6 8 から成る集光光学系 1 6 1 とから構成されている。

ここで、この A F / A L 系（多点 A F 系） 1 3 2 の上記構成各部についてその作用と共に説明する。露光光 E L とは異なるウエハ W 1 （又は W 2 ）上のフォトリジストを感光させない波長の照明光が、図示しない照明光源から光ファイバ束 1 5 0 を介して導かれ、この光ファイバ束 1 5 0 から射出された照明光が、集光レンズ 1 5 2 を経てパターン形成板 1 5 4 を照明する。このパターン形成板 1 5 4 を透過した照明光は、レンズ 1 5 6 、ミラー 1 5 8 及び照射対物レンズ 1 6 0 を経てウエハ W の露光面に投影され、ウエハ W 1 （又は W 2 ）の露光面に対してパターン形成板 1 5 4 上のパターンの像が光軸 A X に対して斜めに投影結像される。ウエハ W 1 で反射された照明光は、集光対物レンズ 1 6 2 、回転方向振動板 1 6 4 及び結像レンズ 1 6 6 を経て受光器 1 6 8 の受光面に投影され、受光器 1 6 8 の受光面にパターン形成板 1 5 4 上のパターンの像が再結像される。ここで、主制御装置 9 0 は、加振装置 1 7 2 を介し

て回転方向振動板 1 6 4 に所定の振動を与えるとともに、受光器 1 6 8 の多数（具体的には、パターン形成板 1 5 4 のスリットパターンと同数）の受光素子からの検出信号を信号処理装置 1 7 0 に供給する。また、信号処理装置 1 7 0 は、各検出信号を加振装置 1 7 2 の駆動信号で同期検波して得た多数のフォーカス信号をステージ制御装置 3 8 を介して主制御装置 9 0 へ供給する。

この場合、パターン形成板 1 5 4 には、図 6 に示されるように、例えば  $5 \times 9 = 45$  個の上下方向のスリット状の開口パターン 9 3 - 1 1 ~ 9 3 - 5 9 が形成されており、これらのスリット状の開口パターンの像がウエハ W の露光面上に X 軸及び Y 軸に対して斜め ( $45^\circ$ ) に投影される。この結果、図 4 に示されるような X 軸及び Y 軸に対して  $45^\circ$  に傾斜したマトリクス配置のスリット像が形成される。なお、図 4 における符号 I F は、照明系により照明されるレチクル上の照明領域と共役なウエハ上の照明フィールドを示す。この図 4 から明らかなように、投影光学系 P L 下の照明フィールド I F より 2 次元的に十分大きいエリアに検出用ビームが照射されている。

第 1 の検出系としての A F / A L 系 1 3 0、1 3 4 も、この A F / A L 系 1 3 2 と同様に構成されている。すなわち、本第 1 の実施形態では、露光時の焦点検出に用いられる A F / A L 系 1 3 2 とほぼ同一の領域をアライメントマークの計測時に用いられる A F / A L 機構 1 3 0、1 3 4 によっても検出ビームが照射可能な構成となっている。このため、アライメント系 2 4 a、2 4 b によるアライメントセンサの計測時に、露光時と同様の A F / A L 系の計測、制御によるオートフォーカス／オートレベリングを実行しつつアライメントマークの位置計測を行うことに

より、高精度なアライメント計測が可能になる。換言すれば、露光時とアライメント時との間で、ステージの姿勢によるオフセット（誤差）が発生しなくなる。

次に、レチクル駆動機構について、図 1 及び図 2 に基づいて説明する。このレチクル駆動機構は、レチクルベース盤 3 2 上をレチクル R を保持して X Y の 2 次元方向に移動可能なレチクルステージ R S T と、このレチクルステージ R S T を駆動する不図示のリニアモータと、このレチクルステージ R S T の位置を管理するレチクル干渉計システムとを備えている。

これを更に詳述すると、レチクルステージ R S T には、図 2 に示されるように、2 枚のレチクル R 1、R 2 がスキャン方向（Y 軸方向）に直列に設置できる様になっており、このレチクルステージ R S T は、不図示のエアーベアリング等を介してレチクルベース盤 3 2 上に浮上支持され、不図示のリニアモータ等から成る駆動機構 3 0（図 1 参照）により X 軸方向の微小駆動、 $\theta$  方向の微小回転及び Y 軸方向の走査駆動がなされるようになっている。なお、駆動機構 3 0 は、前述したステージ装置と同様のリニアモータを駆動源とする機構であるが、図 1 では図示の便宜上及び説明の便宜上から単なるブロックとして示しているものである。このため、レチクルステージ R S T 上のレチクル R 1、R 2 が例えば二重露光の際に選択的に使用され、いずれのレチクルについてもウエハ側と同期スキャンできる様な構成となっている。

このレチクルステージ R S T 上には、X 軸方向の一側の端部に、レチクルステージ R S T と同じ素材（例えばセラミック等）から成る平行平



板移動鏡 3 4 が Y 軸方向に延設されており、この移動鏡 3 4 の X 軸方向の一側の面には鏡面加工により反射面が形成されている。この移動鏡 3 4 の反射面に向けて図 1 の干渉計システム 3 6 を構成する測長軸 B I 6 X で示される干渉計からの干渉計ビームが照射され、干渉計ではその反射光を受光してウエハステージ側と同様にして基準面に対する相対変位を計測することにより、レチクルステージ R S T の位置を計測している。ここで、この測長軸 B I 6 X を有する干渉計は、実際には独立に計測可能な 2 本の干渉計光軸を有しており、レチクルステージの X 軸方向の位置計測と、ヨイニング量の計測が可能となっている。この測長軸 B I 6 X を有する干渉計は、後述するウエハステージ側の測長軸 B I 1 X、B I 2 X を有する干渉計 1 6、1 8 からのウエハステージ W S 1、W S 2 のヨイニング情報や X 位置情報に基づいてレチクルとウエハの相対回転（回転誤差）をキャンセルする方向にレチクルステージ R S T を回転制御したり、X 方向同期制御を行うために用いられる。

一方、レチクルステージ R S T の走査方向（スキャン方向）である Y 軸方向の他側（図 1 における紙面手前側）には、一对のコーナーキューブミラー 3 5、3 7 が設置されている。そして、不図示の一对のダブルパス干渉計から、これらのコーナーキューブミラー 3 5、3 7 に対して図 2 に測長軸 B I 7 Y、B I 8 Y で示される干渉計ビームが照射され、レチクルベース盤 3 2 上の反射面にコーナーキューブミラー 3 5、3 7 より戻され、そこで反射したそれぞれの反射光が同一光路を戻り、それぞれのダブルパス干渉計で受光され、それぞれのコーナーキューブミラー 3 5、3 7 の基準位置（レファレンス位置で前記レチクルベース盤 3 2 上の反射面）からの相対変位が計測される。そして、これらのダブルパス干渉計の計測値が図 1 のステージ制御装置 3 8 に供給され、その平

均値に基づいてレチクルステージR S TのY軸方向の位置が計測される。このY軸方向位置の情報は、ウエハ側の測長軸B I 3 Yを有する干渉計の計測値に基づくレチクルステージR S TとウエハステージW S 1又はW S 2との相対位置の算出、及びこれに基づく走査露光時の走査方向（Y軸方向）のレチクルとウエハの同期制御に用いられる。

すなわち、本第1の実施形態では、干渉計3 6及び測長軸B I 7 Y、B I 8 Yで示される一对のダブルパス干渉計によってレチクル干渉計システムが構成されている。

次に、ウエハステージW S T 1、W S T 2の位置を管理する干渉計システムについて、図1ないし図3を参照しつつ説明する。これらの図に示されるように、投影光学系P Lの投影中心とアライメント系2 4 a、2 4 bのそれぞれの検出中心とを通る第1軸（X軸）に沿ってウエハステージW S 1のX軸方向一侧の面には、図1の干渉計1 6からの第1測長軸B I 1 Xで示される干渉計ビームが照射され、同様に、第1軸に沿ってウエハステージW S 2のX軸方向の他側の面には、図1の干渉計1 8からの第2測長軸B I 2 Xで示される干渉計ビームが照射されている。そして、干渉計1 6、1 8ではこれらの反射光を受光することにより、各反射面の基準位置からの相対変位を計測し、ウエハステージW S 1、W S 2のX軸方向位置を計測するようになっている。ここで、干渉計1 6、1 8は、図2に示されるように、各3本の光軸を有する3軸干渉計であり、ウエハステージW S 1、W S 2のX軸方向の計測以外に、チルト計測及び $\theta$ 計測が可能となっている。各光軸の出力値は独立に計測できる様になっている。ここで、ウエハステージW S 1、W S 2の $\theta$ 回転を行う不図示の $\theta$ ステージ及びZ軸方向の微小駆動及び傾斜駆動を行う

基板駆動系としてのZ・レベリングステージRS1、RS2は、実際には、反射面(20～23)の下にあるので、ウエハステージのチルト制御時の駆動量は全て、これらの干渉計16、18によりモニターする事ができる(基板駆動系)。

なお、第1測長軸BI1X、第2測長軸BI2Xの各干渉計ビームは、ウエハステージWS1、WS2の移動範囲の全域で常にウエハステージWS1、WS2に当たるようになっており、従って、X軸方向については、投影光学系PLを用いた露光時、アライメント系24a、24bの使用時等いずれのときにもウエハステージWS1、WS2の位置は、第1測長軸BI1X、第2測長軸BI2Xの計測値に基づいて管理される。

また、図2及び図3に示されるように、投影光学系PLの投影中心で第1軸(X軸)と垂直に交差する第3測長軸BI3Yを有する干渉計と、アライメント系24a、24bのそれぞれの検出中心で第1軸(X軸)とそれぞれ垂直に交差する第4測長軸としての測長軸BI4Y、BI5Yをそれぞれ有する干渉計とが設けられている(但し、図中では測長軸のみが図示されている)。

本第1の実施形態の場合、投影光学系PLを用いた露光時のウエハステージWS1、WS2のY方向位置計測には、投影光学系の投影中心、すなわち光軸AXを通過する測長軸BI3Yの干渉計の計測値が用いられ、アライメント系24aの使用時のウエハステージWS1のY方向位置計測には、アライメント系24aの検出中心、すなわち光軸SXを通過する測長軸BI4Yの計測値が用いられ、アライメント系24b使用時のウエハステージWS2のY方向位置計測には、アライメント系24

bの検出中心、すなわち光軸S Xを通過する測長軸B I 5 Yの計測値が用いられる。

従って、各使用条件により、Y軸方向の干渉計測長軸がウエハステージWS 1、WS 2の反射面より外れる事となるが、少なくとも一つの測長軸、すなわち測長軸B I 1 X、B I 2 XはそれぞれのウエハステージWS 1、WS 2の反射面から外れることがないので、使用する干渉計光軸が反射面上に入った適宜な位置でY側の干渉計のリセットを行うことができる。この干渉計のリセット方法については、後に詳述する。

なお、上記Y計測用の測長軸B I 3 Y、B I 4 Y、B I 5 Yの各干渉計は、各2本の光軸を有する2軸干渉計であり、ウエハステージWS 1、WS 2のY軸方向の計測以外に、チルト計測が可能となっている。各光軸の出力値は独立に計測できるようにになっている。

本第1の実施形態では、干渉計16、18及び測長軸B I 3 Y、B I 4 Y、B I 5 Yを有する3つの干渉計の合計5つの干渉計によって、ウエハステージWS 1、WS 2の2次元座標位置を管理する干渉計システムが構成されている。

また、本第1の実施形態では、後述するように、ウエハステージWS 1、WS 2の内的一方が露光シーケンスを実行している間、他方はウエハ交換、ウエハアライメントシーケンスを実行するが、この際に両ステージの干渉がないように、各干渉計の出力値に基づいて主制御装置90の指令に応じてステージ制御装置38により、ウエハステージWS 1、WS 2の移動が管理されている。

さらに、図 1 に示される主制御装置 9 0 には、ウエハステージ W S 1、W S 2 の移動を管理するための条件式（例えば、干渉化条件）等が記憶された記憶装置としてのメモリ 9 1 が設けられている。

次に、照明系について、図 1 に基づいて説明する。この照明系は、図 1 に示されるように、露光光源 4 0、シャッタ 4 2、ミラー 4 4、ビームエキスパンダ 4 6、4 8、第 1 フライアイレンズ 5 0、レンズ 5 2、振動ミラー 5 4、レンズ 5 6、第 2 フライアイレンズ 5 8、レンズ 6 0、固定ブラインド 6 2、可動ブラインド 6 4、リレーレンズ 6 6、6 8 等から構成されている。

ここで、この照明系の上記構成各部についてその作用とともに説明する。光源である K r F エキシマレーザと減光システム（減光板、開口絞り等）よりなる光源部 4 0 から射出されたレーザ光は、シャッタ 4 2 を透過した後、ミラー 4 4 により偏向されて、ビームエキスパンダ 4 6、4 8 により適当なビーム径に整形され、第 1 フライアイレンズ 5 0 に入射される。この第 1 フライアイレンズ 5 0 に入射された光束は、2 次元的に配列されたフライアイレンズのエLEMENTにより複数の光束に分割され、レンズ 5 2、振動ミラー 5 4、レンズ 5 6 により再び各光束が異なった角度より第 2 フライアイレンズ 5 8 に入射される。この第 2 フライアイレンズ 5 8 より射出された光束は、レンズ 6 0 により、レチクル R と共役な位置に設置された固定ブラインド 6 2 に達し、ここで所定形状にその断面形状が規定された後、レチクル R の共役面から僅かにデフォーカスされた位置に配置された可動ブラインド 6 4 を通過し、リレーレンズ 6 6、6 8 を経て均一な照明光として、レチクル R 上の上記固定

ブラインド 6 2 によって規定された所定形状、ここでは矩形スリット状の照明領域 I A (図 2 参照) を照明する。

次に、制御系について図 1 に基づいて説明する。この制御系は、装置全体を統括的に制御する制御器としての主制御装置 9 0 を中心に、この主制御装置 9 0 の配下にある露光量制御装置 7 0 及びステージ制御装置 3 8 等から構成されている。

ここで、制御系の上記構成各部の動作を中心に本第 1 の実施形態に係る投影露光装置 1 0 の露光時の動作について説明する。露光量制御装置 7 0 は、レチクル R とウエハ (W 1 又は W 2) との同期走査が開始されるのに先立って、シャッタ駆動装置 7 2 に指示してシャッタ駆動部 7 4 を駆動させてシャッタ 4 2 をオープンする。

この後、ステージ制御装置 3 8 により、主制御装置 9 0 の指示に応じてレチクル R とウエハ (W 1 又は W 2)、すなわちレチクルステージ R S T とウエハステージ (W S 1 又は W S 2) の同期走査 (スキャン制御) が開始される。この同期走査は、前述した干渉計システムの測長軸 B I 3 Y と測長軸 B I 1 X 又は B I 2 X 及びレチクル干渉計システムの測長軸 B I 7 Y、B I 8 Y と測長軸 B I 6 X の計測値をモニタしつつ、ステージ制御装置 3 8 によってレチクル駆動部 3 0 及びウエハステージの駆動系を構成する各リニアモータを制御することにより行われる。

そして、両ステージが所定の許容誤差以内に等速度制御された時点で、露光量制御装置 7 0 では、レーザ制御装置 7 6 に指示してパルス発光を開始させる。これにより、照明系からの照明光により、その下面にパタ



ーンがクロム蒸着されたレチクル R の前記矩形の照明領域 I A が照明され、その照明領域内のパターンの像が投影光学系 P L により  $1/5$  倍に縮小され、その表面にフォトレジストが塗布されたウエハ (W 1 又は W 2) 上に投影露光される。ここで、図 2 から明らかなように、レチクル上のパターン領域に比べ照明領域 I A の走査方向のスリット幅は狭く、上記のようにレチクル R とウエハ (W 1 又は W 2) とを同期走査することで、パターンの全面の像がウエハ上のショット領域 S A に順次形成される。

ここで、前述したパルス発光の開始と同時に、露光量制御装置 7 0 は、ミラー駆動装置 7 8 に指示して振動ミラー 5 4 を振動させ、レチクル R 上のパターン領域が完全に照明領域 I A (図 2 参照) を通過するまで、すなわちパターンの全面の像がウエハ上のショット領域 S A に形成されるまで、連続してこの振動ミラーの振動を行うことで 2 つのフライアイレンズ 5 0、5 8 で発生する干涉縞ムラを減らす。振動ミラーの構造及びその制御法については米国特許第 5, 534, 970 号に開示されており、この開示を援用して本文の記載の一部とする。

また、上記の走査露光中にショットエッジ部でのレチクル上の遮光領域よりも外に照明光が漏れないように、レチクル R とウエハ W のスキャンと同期して可動ブラインド 6 4 がブラインド制御装置 3 9 によって駆動制御されており、これらの一連の同期動作がステージ制御装置 3 8 により管理されている。

ところで、上述したレーザ制御装置 7 6 によるパルス発光は、ウエハ W 1、W 2 上の任意の点が照明フィールド幅 (w) を通過する間に n 回

( $n$ は正の整数)発光する必要があるため、発振周波数を $f$ とし、ウエハスキャン速度を $V$ とすると、次式(1)を満たす必要がある。パルス発光の制御については米国特許第5,591,958号に開示されており、この開示を援用して本文の記載の一部とする。

$$f/n = V/w \quad \dots \dots (1)$$

また、ウエハ上に照射される1パルスの照射エネルギーを $P$ とし、レジスト感度を $E$ とすると、次式(2)を満たす必要がある。

$$nP = E \quad \dots \dots (2)$$

このように、露光量制御装置70は、照射エネルギー $P$ や発振周波数 $f$ の可変量について全て演算を行い、レーザ制御装置76に対して指令を出して露光光源40内に設けられた減光システムを制御することによって照射エネルギー $P$ や発振周波数 $f$ を可変させたり、シャッタ駆動装置72やミラー駆動装置78を制御するように構成されている。

さらに、主制御装置90では、例えば、スキャン露光時に同期走査を行うレチクルステージとウエハステージの移動開始位置(同期位置)を補正する場合、各ステージを移動制御するステージ制御装置38に対して補正量に応じたステージ位置の補正を指示する。

更に、本第1の実施形態の投影露光装置では、ウエハステージWS1との間でウエハの交換を行う第1の搬送システムと、ウエハステージWS2との間でウエハ交換を行う第2の搬送システムとが設けられている。

第1の搬送システムは、図7に示されるように、左側のウエハローディング位置にあるウエハステージWS1との間で後述するようにしてウ

エハ交換を行う。この第1の搬送システムは、Y軸方向に延びる第1のローディングガイド182、このローディングガイド182に沿って移動する第1のスライダ186及び第2のスライダ190、第1のスライダ186に取り付けられた第1のアンロードアーム184、第2のスライダ190に取り付けられた第1のロードアーム188等を含んで構成される第1のウエハローダと、ウエハステージWS1上に設けられた3本の上下動部材から成る第1のセンターアップ180とから構成される。

ここで、この第1の搬送システムによるウエハ交換の動作について、簡単に説明する。ここでは、図7に示されるように、左側のウエハローディング位置にあるウエハステージWS1上にあるウエハW1'と第1のウエハローダにより搬送されてきたウエハW1とが交換される場合について説明する。

まず、主制御装置90では、ウエハステージWS1上の不図示のウエハホルダのパキュームを不図示のスイッチを介してオフし、ウエハW1'の吸着を解除する。

次に、主制御装置90では、不図示のセンターアップ駆動系を介してセンターアップ180を所定量上昇駆動する。これにより、ウエハW1'が所定位置まで持ち上げられる。この状態で、主制御装置90では、不図示のウエハローダ制御装置に第1のアンロードアーム184の移動を支持する。これにより、ウエハローダ制御装置により第1のスライダ186が駆動制御され、第1のアンロードアーム184がローディングガイド182に沿ってウエハステージWS1上まで移動してウエハW1'の真下に位置する。

この状態で、主制御装置 90 では、センターアップ 180 を所定位置まで下降駆動させる。このセンターアップ 180 の下降の途中で、ウエハ W1' が第 1 のアンロードアーム 184 に受け渡されるので、主制御装置 90 ではウエハローダ制御装置に第 1 のアンロードアーム 184 のバキューム開始を指示する。これにより、第 1 のアンロードアーム 184 にウエハ W1' が吸着保持される。

次に、主制御装置 90 では、ウエハローダ制御装置に第 1 のアンロードアーム 184 の退避と第 1 のロードアーム 188 の移動開始を指示する。これにより、第 1 のスライダ 186 と一体的に第 1 のアンロードアーム 184 が図 7 の -Y 方向に移動を開始すると同時に第 2 のスライダ 190 がウエハ W1 を保持した第 1 のロードアーム 188 と一体的に +Y 方向に移動を開始する。そして、第 1 のロードアーム 188 がウエハステージ WS1 の上方に来たとき、ウエハローダ制御装置により第 2 のスライダ 190 が停止されるとともに第 1 のロードアーム 188 のバキュームが解除される。

この状態で、主制御装置 90 ではセンターアップ 180 を上昇駆動し、センターアップ 180 によりウエハ W1 を下方から持ち上げさせる。次いで、主制御装置 90 ではウエハローダ制御装置にロードアームの退避を指示する。これにより、第 2 のスライダ 190 が第 1 のロードアーム 188 と一体的に -Y 方向に移動を開始して第 1 のロードアーム 188 の退避が行われる。この第 1 のロードアーム 188 の退避開始と同時に主制御装置 90 では、センターアップ 180 の下降駆動を開始してウエハ W1 をウエハステージ WS1 上の不図示のウエハホルダに載置させ、

当該ウエハホルダのバキュームをオンにする。これにより、ウエハ交換の一連のシーケンスが終了する。

第2の搬送システムは、同様に、図8に示されるように、右側のウエハローディング位置にあるウエハステージWS2との間で上述と同様にしてウエハ交換を行う。この第2の搬送システムは、Y軸方向に延びる第2のローディングガイド192、この第2のローディングガイド192に沿って移動する第3のスライダ196及び第4のスライダ200、第3のスライダ196に取り付けられた第2のアンロードアーム194、第4のスライダ200に取り付けられた第2のロードアーム198等を含んで構成される第2のウエハローダと、ウエハステージWS2上に設けられた不図示の第2のセンターアップとから構成される。

次に、図7及び図8に基づいて、本第1の実施形態の特徴である2つのウエハステージによる並行処理について説明する。図7には、ウエハステージWS2上のウエハW2を投影光学系PLを介して露光動作を行っている間に、左側ローディング位置にて上述の様にウエハステージWS1と第1の搬送システムとの間でウエハの交換が行われている状態の平面図が示されている。この場合、ウエハステージWS1上では、ウエハ交換に引き続いて後述するようにしてアライメント動作が行われる。なお、図7において、露光動作中のウエハステージWS2の位置制御は、干渉計システムの測長軸BI2X、BI3Yの計測値に基づいて行われ、ウエハ交換とアライメント動作が行われるウエハステージWS1の位置制御は、干渉計システムの測長軸BI1X、BI4Yの計測値に基づいて行われる。

この図 7 に示される左側のローディング位置ではアライメント系 2 4 a の真下にウエハステージ W S 1 の基準マーク板 F M 1 上の基準マークが来るような配置となっている（図 1 9 A 参照）。このため、主制御装置 9 0 では、アライメント系 2 4 a により基準マーク板 F M 1 上の基準マークを計測する以前に、干渉計システムの測長軸 B I 4 Y の干渉計のリセットを実施している。

図 1 9 B には、基準マーク M K 2 の形状の一例及びそれをアライメント系 2 4 a の F I A 系センサで検出する画像取り込みの様子が示されている。この図 1 9 B において、符号 S x は C C D の画像取り込み範囲を示し、符号 M で示される十字状マークは、F I A 系センサ内の指標である。ここでは、X 軸方向の画像取り込み範囲のみが示されているが、実際には Y 軸方向についても同様の画像取り込みが行われることは勿論である。

図 1 9 C には、図 1 9 B のマーク M K 2 の画像を F I A 系のセンサで取り込んだ際にアライメント制御装置 8 0 内の画像処理系にて得られた波形信号が示されている。アライメント制御装置 8 0 ではこの波形信号を解析することで指標中心を基準とするマーク M K 2 の位置を検出し、主制御装置 9 0 では、前記マーク M K 2 の位置と測長軸 B I 1 X、B I 4 Y の干渉計の計測結果とに基づいて測長軸 B I 1 X と B I 4 Y を用いた座標系（以下、適宜「第 1 のステージ座標系」という）における基準マーク板 F M 1 上のマーク M K 2 の座標位置を算出する。

上述したウエハ交換、干渉計のリセットに引き続いて、サーチアライメントが行われる。そのウエハ交換後に行われるサーチアライメントと



は、ウエハW1の搬送中になされるプリアライメントだけでは位置誤差が大きいため、ウエハステージWS1上で再度行われるプリアライメントのことである。具体的には、ステージWS1上に載置されたウエハW1上に形成された3つのサーチアライメントマーク（図示せず）の位置をアライメント系24aのLSA系のセンサ等を用いて計測し、その計測結果に基づいてウエハW1のX、Y、 $\theta$ 方向の位置合わせを行う。このサーチアライメントの際の各部の動作は、主制御装置90により制御される。

このサーチアライメントの終了後、ウエハW1上の各ショット領域SAの配列をここではEGAを使って求めるファインアライメントが行われる。EGAの方法は米国特許第4,780,617号に開示されており、この開示を援用して本文の記載の一部とする。具体的には、干渉計システム（測長軸BI1X、BI4Y）により、ウエハステージWS1の位置を管理しつつ、設計上のショット配列データ（アライメントマーク位置データ）をもとに、ウエハステージWS1を順次移動させつつ、ウエハW1上の所定のサンプルショットのアライメントマーク位置をアライメント系24aのFIA系のセンサ等で計測し、この計測結果とショット配列の設計座標データに基づいて最小自乗法による統計演算により、全てのショット配列データを演算する。なお、このEGAの際の各部の動作は主制御装置90により制御され、上記の演算は主制御装置90により行われる。

そして、主制御装置90では、各ショットの座標位置から前述した基準マークMK2の座標位置を減算することで、マークMK2に対する各ショットの相対位置関係を算出する。

本第 1 の実施形態の場合、前述したように、アライメント系 2 4 a による計測時に、露光時と同じ A F / A L 系 1 3 2 ( 図 4 参照 ) の計測、制御によるオートフォーカス / オートレベリングを実行しつつアライメントマークの位置計測が行われ、アライメント時と露光時との間にステージの姿勢によるオフセット ( 誤差 ) を生じさせないようにすることができる。

ウエハステージ W S 1 側で、上記のウエハ交換、アライメント動作が行われている間に、ウエハステージ W S 2 側では、図 9 に示されるような 2 枚のレチクル R 1 、 R 2 を使い、露光条件を変えながら連続してステップ・アンド・スキャン方式により二重露光が行われる。

具体的には、前述したウエハ W 1 側と同様にして事前にマーク M K 2 に対する各ショットの相対位置関係の算出が行われており、この結果と、レチクルアライメント顕微鏡 1 4 4 、 1 4 2 による基準マーク板 F M 1 上マーク M K 1 , M K 3 とそれに対応するレチクル上マーク R M K 1 , R M K 3 のウエハ面上投影像の相対位置検出 ( これについては後に詳述する ) の結果とに基づいて、ウエハ W 2 上のショット領域を投影光学系 P L の光軸下方に順次位置決めしつつ、各ショット領域の露光の都度、レチクルステージ R S T とウエハステージ W S 2 とを走査方向に同期走査させることにより、スキャン露光が行なわれる。

このようなウエハ W 2 上の全ショット領域に対する露光がレチクル交換後にも連続して行なわれる。具体的な二重露光の露光順序としては、図 1 0 A に示されるように、ウエハ W 1 の各ショット領域をレチクル R

2 (A パターン) を使って A 1 ~ A 1 2 まで順次スキャン露光を行なった後、駆動系 3 0 を用いてレチクルステージ R S T を走査方向に所定量移動してレチクル R 1 (B パターン) を露光位置に設定した後、図 1 0 B に示される B 1 ~ B 1 2 の順序でスキャン露光を行なう。この時、レチクル R 2 とレチクル R 1 では露光条件 (A F / A L、露光量) や透過率が異なるので、レチクルアライメント時にそれぞれの条件を計測し、その結果に応じて条件の変更を行なう必要がある。このウエハ W 2 の二重露光中の各部の動作も主制御装置 9 0 によって制御される。

上述した図 7 に示す 2 つのウエハステージ W S 1、W S 2 上で並行して行われる露光シーケンスとウエハ交換・アライメントシーケンスとは、先に終了したウエハステージの方が待ち状態となり、両方の動作が終了した時点で図 8 に示す位置までウエハステージ W S 1、W S 2 が移動制御される。そして、露光シーケンスが終了したウエハステージ W S 2 上のウエハ W 2 は、右側ローディングポジションでウエハ交換がなされ、アライメントシーケンスが終了したウエハステージ W S 1 上のウエハ W 1 は、投影光学系 P L の下で露光シーケンスが行われる。

図 8 に示される右側ローディングポジションでは、左側ローディングポジションと同様にアライメント系 2 4 b の下に基準マーク板 F M 2 上の基準マーク M K 2 が位置づけられるようになっており、前述のウエハ交換動作とアライメントシーケンスとが実行される事となる。勿論、干渉計システムの測長軸 B I 5 Y を有する干渉計のリセット動作は、アライメント系 2 4 b による基準マーク板 F M 2 上のマーク M K 2 の検出に先立って実行されている。

次に、図 7 の状態から図 8 の状態へ移行する際の、主制御装置 90 による干渉計のリセット動作について説明する。ウエハステージ W S 1 は、左側ローディングポジションでアライメントを行った後に、図 8 に示される投影光学系 P L の光軸 A X 中心（投影中心）の真下に基準板 F M 1 上の基準マークが来る位置（図 20 A 参照）まで移動されるが、この移動の途中で測長軸 B I 4 Y の干渉計ビームが、ウエハステージ W S 1 の反射面 21 に入射されなくなるので、アライメント終了後直ちに図 8 の位置までウエハステージを移動させることは困難である。このため、本第 1 の実施形態では、次のような工夫をしている。

すなわち、先に説明したように、本第 1 の実施形態では、左側ローディングポジションにウエハステージ W S 1 がある場合に、アライメント系 24 a の真下に基準マーク板 F M 1 が来るように設定されており、この位置で測長軸 B I 4 Y の干渉計がリセットされているので、この位置までウエハステージ W S 1 を一旦戻し、その位置から予めわかっているアライメント系 24 a の検出中心と投影光学系 P L の光軸中心（投影中心）との距離（便宜上 B L とする）にもとづいて、干渉計ビームの切れることのない測長軸 B I 1 X の干渉計 16 の計測値をモニタしつつ、ウエハステージ W S 1 を距離 B L だけ X 軸方向右側に移動させる。これにより、図 8 に示される位置までウエハステージ W S 1 が移動されることになる。

そして、主制御装置 90 では、図 20 A に示されるように、レチクルアライメント顕微鏡 144、142 により露光光を用いて基準マーク板 F M 1 上マーク M K 1、M K 3 とそれに対応するレチクル上マーク R M K 1、R M K 3 のウエハ面上投影像の相対位置検出を行なう。

前述のように既知の値  $BL$  を用いてウエハステージ  $WS1$  を移動したため、図 20A に示すように、レチクルマーク  $RMK1$  及び  $RMK3$  は、概ね  $MK1$  と  $MK3$  と一致するかまたはそれらの近傍に位置しているであろう。

図 20B にはレチクル  $R$  上のマーク  $RMK$  ( $RMK1$ 、 $RMK2$ ) のウエハ面上投影像が示され、図 20C には基準マーク板上のマーク  $MK$  ( $MK1$ 、 $MK3$ ) が示されている。また、図 20D には図 20A の状態で、レチクルアライメント顕微鏡 144、142 にレチクル  $R$  上のマーク  $RMK$  ( $RMK1$ 、 $RMK2$ ) のウエハ面上投影像と基準マーク板上のマーク  $MK$  ( $MK1$ 、 $MK3$ ) を同時に検出する画像取り込みの様子が示されている。この図 20D において、符号  $SRx$  はレチクルアライメント顕微鏡を構成する CCD の画像取り込み範囲を示す。図 20E には、上記で取り込まれた画像が不図示の画像処理系で処理され得られた波形信号が示されている。

ここで、図 20B に示したレチクルマーク  $RMK$  及び図 20C に示したマーク  $MK$  の形状は一例に過ぎず、任意の形状にし得る。基準板  $FM$  上には、図 11 に示したように、 $MK1$  及び  $MK3$  の中央に  $MK2$  が位置するように配置されており、 $MK1$  と  $MK3$  の間隔はそれらをレチクルアライメント顕微鏡で観測したときにそれぞれレチクル上のマーク  $RMK1$  と  $RMK2$  との間隔と一致するように調整されている。図 20D は、レチクルアライメントマーク  $RMK$  がちょうど基準板のマーク  $MK$  の中央に位置している様子が示されている。

主制御装置 90 ではこの波形信号波形の取り込みをするのに先立って、測長軸 B I 3 Y の干渉計をリセットする。リセット動作は、次に使用する測長軸がウエハステージ側面を照射できるようになった時点で実行することができる。

これにより、測長軸 B I 1 X、B I 3 Y を用いた座標系（第 2 のステージ座標系）における基準マーク板 F M 1 上のマーク M K 1、M K 3 の座標位置と、レチクル R 上マーク R M K のウエハ面上投影像座標位置が検出される。

たとえば、マーク M K 1（およびマーク M K 3）がアライメント顕微鏡で観測されているときのウエハステージ W S 1 の第 2 のステージ座標系での測定値が（X 1、Y 1）であり且つレチクルアライメントマーク R M K 1 位置に対するマーク M K 1 の相対位置およびレチクルアライメントマーク R M K 3 の投影位置に対するマーク M K 1 の相対位置がアライメント顕微鏡で検出される。ここで、レチクル R 上のマーク R M K 1 および R M K 3 がウエハ面上に投影されてできた 2 つの像の中心位置は、レチクルパターンの露光位置、すなわち、投影光学系の投影中心を意味し、またマーク M K 1 及び M K 3 の中央に M K 2 が位置するので、ウエハステージ W S 1 が（X 1、Y 1）にあるときの、レチクルパターンの露光位置と基準板 F M のマーク M K 2 との相対位置も計算により求めることができる。

そして、主制御装置 90 では、先に求めた基準板 F M 1 上マーク M K 2 に対する各ショットの相対位置関係と、露光位置と基準板 F M 1 上マーク M K 1、M K 3 座標位置の相対関係より、最終的に露光位置と各シ



ショットの相対位置関係を算出する。その結果に応じて、図 2 1 に示されるように、ウエハ W 1 上の各ショットの露光が行なわれることとなる。

このように、干渉計のリセット動作を行っても高精度アライメントが可能な理由は、以下の通りである。アライメント系 2 4 a により基準マーク板 F M 1 上の基準マークを計測した後、ウエハ W 1 上の各ショット領域のアライメントマークを計測することにより、基準マークと、ウエハマークの計測により算出された仮想位置との間隔を同一のセンサにより算出している。この時点で基準マークと露光すべき位置の相対距離が求められていることから、露光前にレチクルアライメント顕微鏡 1 4 2、1 4 4 により露光位置と基準マーク位置との対応がとれていれば、その値に前記相対距離を加えることにより、Y 軸方向の干渉計の干渉計ビームがウエハステージの移動中に切れて再度リセットを行ったとしても高精度な露光動作を行うことができるのである。

なお、基準マーク M K 1 ~ M K 3 は常に同じ基準板上にあるので、描画誤差を予め求めておけばオフセット管理のみで変動要因は無い。また、R M K 1、R M K 2 もレチクル描画誤差によるオフセットを持つ可能性があるが、例えば特開平 5—6 7 2 7 1 号公報に開示されるように、レチクルアライメント時に複数マークを用いて描画誤差の軽減を行なうか、レチクルマーク描画誤差を予め計測しておけば、同様にオフセット管理のみで対応できる。

また、アライメント終了位置から図 8 の位置にウエハステージ W S 1 が移動する間に、測長軸 B I 4 Y が切れないような場合には、測長軸 B I 1 X、B I 4 Y の計測値をモニタしつつ、アライメント終了後に直ち

に、図 8 の位置までウエハステージ W S 1 を直線的に移動させてもよいことは勿論である。この場合、ウエハステージ W S 1 の Y 軸と直交する反射面 2 1 に投影光学系 P L の光軸 A X を通る測長軸 B I 3 Y がかった時点以後、レチクルアライメント顕微鏡 1 4 4 、 1 4 2 による基準マーク板 F M 1 上マーク M K 1 , M K 3 とそれに対応するレチクル上マーク R M K 1 , R M K 3 のウエハ面上投影像の相対位置検出より以前のいずれの時点で干渉計のリセット動作を行なうようにしても良い。

上記と同様にして、露光終了位置からウエハステージ W S 2 を図 8 に示される右側のローディングポジションまで移動させ、測長軸 B I 5 Y の干渉計のリセット動作を行えば良い。

また、図 1 1 には、ウエハステージ W S 1 上に保持されるウエハ W 1 上の各ショット領域を順次露光する露光シーケンスのタイミングの一例が示されており、図 1 2 には、これと並列的に行われるウエハステージ W S 2 上に保持されるウエハ W 2 上のアライメントシーケンスのタイミングが示されている。本第 1 の実施形態では、2 つのウエハステージ W S 1 、 W S 2 を独立して 2 次元方向に移動させながら、各ウエハステージ上のウエハ W 1 、 W 2 に対して露光シーケンスとウエハ交換・アライメントシーケンスとを並行して行うことにより、スループットの向上を図っている。

ところが、2 つのウエハステージを使って 2 つの動作を同時並行処理する場合は、一方のウエハステージ上で行われる動作が外乱要因として、他方のウエハステージで行われる動作に影響を与える場合がある。また、逆に、一方のウエハステージ上で行われる動作が他方のウエハステージ

で行われる動作に影響を与えない動作もある。そこで、本第 1 の実施形態では、並行処理する動作の内、外乱要因となる動作とならない動作とに分けて、外乱要因となる動作同士、あるいは外乱要因とならない動作同士が同時に行われるように、各動作のタイミング調整が図られる。

例えば、スキャン露光中は、ウエハ W 1 とレチクル R とを等速で同期走査させることから外乱要因とならない上、他からの外乱要因を極力排除する必要がある。このため、一方のウエハステージ W S 1 上でのスキャン露光中は、他方のウエハステージ W S 2 上のウエハ W 2 で行われるアライメントシーケンスにおいて静止状態となるようにタイミング調整がなされる。すなわち、アライメントシーケンスにおけるマーク計測は、ウエハステージ W S 2 をマーク位置で静止させた状態で行われるため、スキャン露光にとって外乱要因とならず、スキャン露光中に並行してマーク計測を行うことができる。これを図 1 1 及び図 1 2 で見ると、図 1 1 においてウエハ W 1 に対し動作番号「1、3、5、7、9、11、13、15、17、19、21、23」で示されるスキャン露光と、図 1 2 においてウエハ W 2 に対し動作番号「1、3、5、7、9、11、13、15、17、19、21、23」で示される各アライメントマーク位置におけるマーク計測動作が相互に同期して行われていることがわかる。一方、アライメントシーケンスにおいても、スキャン露光中は、等速運動なので外乱とはならず高精度計測が行えることになる。

また、ウエハ交換時においても同様のことが考えられる。特に、ロードアームからウエハをセンターアップに受け渡す際に生じる振動等は、外乱要因となり得るため、スキャン露光前、あるいは、同期走査が等速度で行われるようになる前後の加減速時（外乱要因となる）に合わせて

ウエハの受け渡しをするようにしても良い。上述したタイミング調整は、主制御装置 90 によって行われる。

次に、本第 1 実施形態の投影露光装置 10 において、アライメント系 24 a に設けられた AF / AL 系 130、又はアライメント系 24 b に設けられた AF / AL 系 134 を用いてアライメント時にウエハの AF 計測を行い、この計測結果と、投影光学系 PL に設けられた AF / AL 系 132 によるウエハの AF 計測結果とに基づいて露光時に、フォーカス・レベリング制御を行う方法について説明する。

ウエハ W 上の各ショット領域に対する露光順序は、前述したように、①スキャン時加減速時間、②整定時間、③露光時間、④隣接ショットへのステッピング時間等の①～④の各パラメータにより決定されるが、一般にレチクルステージの加減速が律速条件となるため、縦ステッピング（図 13 の Y 方向へのステッピング）により 2 ショットステッピングが行われない場合は、ウエハを ±Y 方向に交互に走査する（図 13 の X 方向に隣接するショットを順次走査露光する）のが最も効率が良くなる。

図 13 には、このようにして決定されたウエハ W1 上のショット領域 210 の露光順序が示されている。この図 13 は、ウエハ W1 内に全てのショット配列が入っている場合の例である。

本実施形態においても、各ショット領域の露光に先立って、米国特許第 5,448,332 号に対応する特開平 6-283403 号公報等に記載されるような完全先読み制御が行われるのであるが、図 13 に示されるような最も効率の良い露光順序で露光を行なおうとすると、図 13

中の符号 A、B、C で示される各位置では、先読み用の A F 検出点がウエハ W 1 の外周にかかるため、部分的にウエハ W 1 の面上を計測（検出）できない A F 検出点が発生する。このような場合には、上記の完全先読み制御を行なうことができない。

これを更に詳述する。図 1 4 A、1 4 B、1 4 C には、図 1 3 中に A、B、C で示される各位置で先読み用の A F 計測を行う場合の拡大平面図がそれぞれ示されている。なお、実際には、レチクル上の照明領域 I A に共役な露光領域 I F 及び A F 検出点 A F 1 ~ A F 5 等が固定で、これらに対しウエハ W 1 が走査されるのであるが、便宜上、図 1 4 A、1 4 B、1 4 C においては、露光領域 I F 及び A F 検出点がウエハ面に対して走査されるように図示されている。従って、以下の説明においては、実際のウエハ W 1 の走査方向と反対方向をスキャン方向として説明する。

この場合、露光領域 I F の走査方向（紙面の上下方向）の一方側には、第 2 検出系としての A F 検出点 A F 1 ~ A F 5 が非走査方向（紙面の左右方向）に配列され（図 1 4 A 参照）、また、露光領域 I F の走査方向の他方側には、第 2 検出系としての A F 検出点 A B 1 ~ A B 5 が非走査方向に配列されているものとする（図 1 4 B 参照）。

図 1 4 A において + Y 方向にスキャンしながら A F 計測を行う場合、検出点 A F 1 及び A F 2 がウエハ W 1 面上を外れており、また、図 1 4 B と 1 4 C の場合もウエハ W 1 面上を検出点（A B 1 ~ A B 5, A F 4 及び A F 5）が外れていることから、前述した先読み制御を行うことができなくなるのである。

このような場合、従来においては、上記 A、B、C の位置において検出点がウエハ W1 面上から外れないようにするため、ウエハ W1 の内側から外側に向けてスキャン（内スキャンという）を行うようにスキャン方向の反転を行っていたが、スキャン方向を反転させると、上記のように決定された露光順序が変更される結果、スループットが低下するという不都合がある。

ここで、ウエハステージ WS により移動しているウエハの表面の外縁が AF 計の検出部に入っているときの AF 計の出力（ウエハ表面の Z 方向位置）結果の一例を図 15 に示す。

かかるスループットの低下を防止するため、図 15（比較例）に示されるように、先読み用の AF 検出点（例えば、AF1～AF5）が全てのウエハ面上に存在して計測可能になった時点 D で AF 計測を開始し、オートフォーカス、オートレベリング制御（以下、AF/AL 制御という）を実施する方法を採用すると、AF/AL の追従の位相遅れによる誤差が追従終了点 E～F の間で発生する。なお、この図 15 における点 E は、正常な先読み制御が行われる場合の追従完了位置を示すものであり、これより明らかなように、このような AF 計測では AF/AL 制御精度を悪化させることがわかる。

そこで、本第 1 の実施形態では、ウエハ露光時の先読み制御に先立って、アライメント系 24a に設けられた AF/AL 系 130、又はアライメント系 24b に設けられた AF/AL 系 134 を用いてアライメント時にウエハ W1 の AF 計測を、露光時と同じ条件で行なうことにより、上記の AF/AL の追従の位相遅れによる誤差である AF/AL 制御精



度の悪化を防止しようとするものである。なお、上記AF/AL系130あるいはAF/AL系134には、上述した投影光学系PLに設けられているのと同じ条件でウエハW1表面をAF/AL計測することができる第1検出系としてのAF検出点(AF1～AF5に相当：図14A参照)及びAF検出点(AB1～AB5に相当：図14B参照)を有している。

すなわち、図16に示されるように、アライメントが行われるウエハW1では、EGAの計測点数がAL1～AL6(6点)であって、その間に露光シーケンスと同じ方向でAF計測が計測点C, A, Bにて行われる。この場合も、2つの基板ステージの動作が互いに影響し合うことがない様にするため、ステッピング動作同士(外乱要因動作同士)、あるいは露光動作とアライメント動作(非外乱要因動作)同士を同期させるとともに、互いに干渉しない順序でステージを移動するようにしている。この場合、露光時間>アライメント時間+先読み計測時間となっているものとする。

図17には、図16のA点における本発明の特徴であるアライメント時のAF計測による検出点AF1～AF5までの計測結果が示されている。図17では、図を簡略化するため、ウエハ面位置をレベリングを0として示したが、通常はAF1～AF5までの結果がばらついているのが一般的である。

この場合、図14Aに示されるように、検出点AF4及びAF5では、AF計測を正常に行うことができるので、図17においてもそのAF計測値はウエハ面位置を示している。これに対し、検出点AF3, AF2,

A F 1 は、走査方向に移動するにつれて順次ウエハ面位置を示す様になる。このようにして、ウエハ外周近傍のショット領域のフォーカス計測を予め行っておくと、次の露光シーケンスでは、例えば図 1 6 中の A、B、C の各位置においてどのような計測値を示すかが分かるため、実際の露光時の先読み制御の際には、図 1 8 に示されるように、図 1 5 の場合に比べ、ウエハ面位置の計測再現性の誤差の範囲内でウエハ位置を目標位置（0）に近づけておく事ができる。すなわち、フォーカスの追い込みを迅速に行なうことができる。

もともとオートフォーカスの追従制御応答は、特開平 6—2 8 3 4 0 3 号公報に示されるように、1 次応答として、絶対誤差の 3 0 % 分追従できる条件であり、初期の絶対値誤差を小さくする事によって、追従終了点 F が早くなり（許容値が同じため）、正常な先読み制御が行われていた時の追従完了点 E よりも更に前に追従を終了させる事が可能となる。

以上説明したように、本第 1 の実施形態の投影露光装置 1 0 によると、ウエハを保持する 2 つのウエハステージを独立して移動させ、一方のステージ上でウエハ交換及びアライメント動作を行い、他方のステージ上で露光動作を並行して行い、上記のアライメントの際に、アライメント系の A F / A L 系を使ってウエハ面の A F 計測を行うこととし、両方の動作が終了した時点で、お互いの動作を切り換える事としたので、ウエハ外周でフォーカス計測を事前に実施し、その結果を用いることで、露光時に先読み位置にウエハ表面が無いようなウエハ外周の近傍でウエハの外側から内側へ向けてスキャン露光するショット領域であってもフォーカスの迅速な追い込みが可能であり、先読み制御の追従の遅れを防止することができる。従って、高精度でフォーカス、レベリング制御が可

能であるとともに、ウエハ外周の近傍のショット領域をウエハの外側から内側へ向けてスキャン露光する場合であっても内スキャンを採用する必要がなく、最も効率の良い露光順序で各ショット領域を露光することができるのでスループットの向上が可能である。

また、上記のアライメント時のA F計測は、外周ショットの走査露光時と同じ方向から走査しながら行われるので、ステージの走り方向等に依存したオフセット等を除去したフォーカス制御が可能となる。

また、上記第1の実施形態の投影露光装置10によると、2枚のウエハをそれぞれ独立に保持する2つのウエハステージを具備し、これら2つのウエハステージをXYZ方向に独立に移動させて、一方のウエハステージでウエハ交換とアライメント動作を実行する間に、他方のウエハステージで露光動作を実行する事とし、両方の動作が終了した時点でお互いの動作を切り換えるようにしたことから、スループットを大幅に向上させることが可能になる。

また、上記の動作を切り換える際に、切り換え後の動作で使用される測長軸の干渉計をリセットすると同時にウエハステージ上に配置された基準マーク板の計測シーケンスをも行なうようにしたことから、干渉計システムの測長軸がウエハステージの反射面（移動鏡を別に設ける場合は、該移動鏡）から外れても特に不都合がなく、ウエハステージの反射面（移動鏡を別に設ける場合は移動鏡）を短くする事が可能となるので、ウエハステージの小型化を容易に実現でき、具体的にはウエハステージの一辺の長さをウエハ直径より僅かに大きい程度の大きさにまで小型化することができ、これにより独立に可動できる2つのウエハステージを

装置に容易に組み込む事が可能となるのに加え、各ウエハステージの位置決め性能を向上させることが可能になる。

さらに、露光動作の行われる方のウエハステージについては、測長用干渉計リセットと同時に投影光学系P Lを介したレチクルアライメント顕微鏡1 4 2、1 4 4（露光光アライメントセンサ）により基準マーク板上のマーク計測を行い、ウエハ交換・アライメント動作の行われる方のウエハステージについては測長用干渉計リセットと同時にアライメント系2 4 a又は2 4 b（オフアクシスアライメントセンサ）により基準マーク板上のマーク計測を行う事としたことから、各アライメント系によるアライメント、投影光学系による露光の際もウエハステージの位置を管理する干渉計測長軸を切り換える事が可能となる。この場合において、①基準マーク板上マークの計測をアライメント系2 4 a又は2 4 bにて行なう際に、該マークの座標位置を第1のステージ座標系上で計測し、②その後にウエハ上のサンプルショットのアライメントマークを検出してE G A演算により各ショットの配列座標（露光用座標位置）を第1のステージ座標系上で求め、③上記①と②の結果から基準マーク板上マークと各ショットの露光用座標位置との相対位置関係を求め、④露光前にレチクルアライメント顕微鏡1 4 2、1 4 4により投影光学系P Lを介して基準マーク板上のマークとレチクル投影座標位置との相対位置関係を第2のステージ座標系上で検出し、⑤上記③と④とを用いて各ショットの露光を行なうこととしたので、ウエハステージの位置を管理する干渉計測長軸を切り換えても高精度で露光を行なうことができる。この結果、従来の様な投影光学系の投影中心とアライメント系の検出中心との間隔を計測するベースライン計測を行なうことなく、ウエハの位置合わせが可能となり、特開平7-176468号公報に記載されるよう

な大きな基準マーク板の搭載も不要となる。

また、上記第 1 の実施形態によると、投影光学系 PL を挟んでマーク検出を行う少なくとも 2 つのアライメント系を具備しているため、2 つのウエハステージを交互にずらすことにより、各アライメント系を交互に使って行われるアライメント動作と露光動作とを並行処理することが可能になる。

その上、上記第 1 の実施形態によると、ウエハ交換を行うウエハローダがアライメント系の近辺、特に、各アライメント位置で行えるように配置されているため、ウエハ交換からアライメントシーケンスへの移行がスムーズに行われ、より高いスループットを得ることができる。

さらに、上記第 1 の実施形態によると、上述したような高スループットが得られるため、オフアクシスのアライメント系を投影光学系 PL より大きく離して設置したとしてもスループットの劣化の影響が殆ど無くなる。このため、高 N.A.（開口数）であって且つ収差の小さい直筒型の光学系を設計して設置することが可能となる。

また、上記第 1 の実施形態によると、2 本のアライメント系及び投影光学系 PL の各光軸のほぼ中心を計測する干渉計からの干渉計ビームを各光学系毎に有しているため、アライメント時や投影光学系を介してのパターン露光時のいずれの場合にも 2 つのウエハステージ位置をアッペ誤差のない状態でそれぞれ正確に計測することができ、2 つのウエハステージを独立して移動させることが可能になる。

さらに、2つのウェハステージWS1、WS2が並ぶ方向（ここではX軸方向）に沿って両側から投影光学系PLの投影中心に向けて設けられた測長軸BI1X、BI2Xは、常にウェハステージWS1、WS2に対して照射され、各ウェハステージのX軸方向位置を計測するため、2つのウェハステージが互いに干渉しないように移動制御することが可能になる。

その上、上記測長軸BI1X、BI2Xに対してアライメント系の検出中心や投影光学系PLの投影中心位置に向けて垂直に交差する方向（ここではY軸方向）に測長軸BI3Y、BI4Y、BI5Yが照射されるように干渉計が配置され、ウェハステージを移動させて反射面から測長軸が外れたとしても、干渉計をリセットすることによりウェハステージを正確に位置制御することが可能となる。

そして、2つのウェハステージWS1、WS2上には、それぞれ基準マーク板FM1、FM2が設けられ、その基準マーク板上のマーク位置とウェハ上のマーク位置とを予めアライメント系で計測することによって得られる補正座標系との間隔を、露光前の基準板計測位置に対してそれぞれ加算する事によって、従来の様な投影光学系とアライメント系との間隔を計測するベースライン計測を行うことなくウェハの位置合わせが可能となり、特開平7-176468号公報に記載されるような大きな基準マーク板の搭載も不要となる。

また、上記第1の実施形態によると、複数枚のレチクルRを使って二重露光を行うことから、高解像度とDOF（焦点深度）の向上効果が得られる。しかし、この二重露光法は、露光工程を少なくとも2度繰り返



さなければならぬため、露光時間が長くなって大幅にスループットが低下するが、本第1の実施形態の投影露光装置を用いることにより、スループットが大幅に改善できるため、スループットを低下させることなく高解像度とDOFの向上効果とが得られる。例えば、T1（ウエハ交換時間）、T2（サーチアライメント時間）、T3（ファインアライメント時間）、T4（1回の露光時間）において、8インチウエハにおける各処理時間をT1：9秒、T2：9秒、T3：12秒、T4：28秒とした場合、1つのウエハステージを使って一連の露光処理が為される従来技術により二重露光が行われると、スループット $THOR = 3600 / (T1 + T2 + T3 + T4 \times 2) = 3600 / (30 + 28 \times 2) = 41$  [枚/時] となり、1つのウエハステージを使って一重露光法を実施する従来装置のスループット ( $THOR = 3600 / (T1 + T2 + T3 + T4) = 3600 / 58 = 62$  [枚/時]) と比べてスループットが66%までダウンする。ところが、本第1の実施形態の投影露光装置を用いてT1、T2、T3とT4とを並列処理しながら二重露光を行う場合は、露光時間だけを考慮すれば良いため、スループット $THOR = 3600 / (28 + 28) = 64$  [枚/時] となることから、高解像度とDOFの向上効果を維持しつつスループットを改善することが可能となる。また、露光時間が長い分、EGA点数を増やすことが可能となり、アライメント精度が向上する。

なお、上記第1の実施形態では、本発明が二重露光法を用いてウエハの露光を行う装置に適用された場合について説明したが、これは、前述の如く、本発明の装置により、一方のウエハステージ側で2枚のレチクルにて2回露光を行う（二重露光）間に、独立に可動できる他方のウエハステージ側でウエハ交換とウエハアライメントを並行して実施する場

合に、従来の一重露光よりも高いスループットが得られるとともに、解像力の大幅な向上が図れるという特に大きな効果があるためである。しかしながら、本発明の適用範囲がこれに限定されるものではなく、一重露光法により露光する場合にも本発明は好適に適用できるものである。例えば、8インチウエハの各処理時間（ $T_1 \sim T_4$ ）が前述と同様であるとすると、本発明のように2つのウエハステージを使って一重露光法で露光処理する場合、 $T_1$ 、 $T_2$ 、 $T_3$ を1グループとし（計30秒）、 $T_4$ （28秒）と並列処理を行うと、スループットは $THOR = 3600 / 30 = 120$  [枚/時] となり、1つのウエハステージを使って一重露光法を実施する従来のスループット（ $THOR = 62$  [枚/時]）に比べてほぼ倍の高スループットを得る事が可能となる。

## 〔第2の実施形態〕

次に、本発明の第2の実施形態を図22及び図23に基づいて説明する。ここで、前述した第1の実施形態と同一若しくは同等の構成部分については、同一の符号を用いるとともにその説明を簡略にし若しくは省略するものとする。

この第2の実施形態に投影露光装置は、図22に示されるように、ウエハステージ $WS_1$ の一辺の長さ（ $WS_2$ の一辺の長さもこれと同じ）が、測長軸 $BI_4Y$ と $BI_3Y$ との相互間距離 $BL$ （測長軸 $BI_5Y$ と $BI_3Y$ との相互間距離もこれと同じ）より長くなっているため、アライメントシーケンスの終了位置から露光シーケンスの開始位置までウエハステージ $WS_1$ （又は $WS_2$ ）が移動する間に、測長ビーム $BI_4Y$ （又は $BI_5Y$ ）がステージの反射面から切れないようになっている点に特徴を有する。このため、後述するように、干渉計のリセット後に、

基準マーク板の基準マークの計測が可能となる点が、前述した第 1 の実施形態の場合と異なるが、その他の部分の構成等は前述した第 1 の実施形態の投影露光装置 10 と同様になっている。

図 2 2 には、ウエハステージ W S 1 上ウエハ W 1 のアライメントが終了した後に測長軸 B I 3 Y の干渉計のリセットを行なっている様子が示されている。

この図 2 2 から明らかなように、ウエハステージ W S 1 の位置を管理している測長軸 B I 1 X, B I 4 Y の干渉計はアライメント系 2 4 a によるウエハ W 1 のファインアライメント（前述した E G A により行なわれる）動作以降、干渉計ビームがウエハステージ W S 1 の Y 軸方向一端面に形成された反射面から外れることがないので、主制御装置 9 0 では測長軸 B I 1 X, B I 4 Y の干渉計の計測値をモニタしつつウエハステージ W S 1 をアライメント終了位置から投影レンズ P L の下に基準マーク板 F M 1 が位置づけられる図 2 2 の位置まで移動させる。この際、基準マーク板 F M 1 を投影レンズ P L の真下に位置決めする直前で測長軸 B I 3 Y の干渉計ビームがウエハステージ W S 1 の反射面にて反射されるようになる。

この場合、ウエハステージ W S 1 の位置制御は、測長軸 B I 1 X, B I 4 Y の干渉計の計測値に基づいて行なわれているので、前述した第 1 の実施形態の場合と異なり、主制御装置 9 0 では、ウエハステージ W S 1 の位置を正確に管理できており、この時点（基準マーク板 F M 1 を投影レンズ P L の真下に位置決めする直前）で、測長軸 B I 3 Y の干渉計をリセットする。リセット終了後、ウエハステージ W S 1 の位置制御は

測長軸  $B I 1 X$  ,  $B I 3 Y$  の干渉計の計測値に基づいて行なわれるようになる（第 1 のステージ座標系から第 2 のステージ座標系に座標系の切り替えが行なわれる）。

その後、主制御装置 90 では図 22 に示される位置にウエハステージ  $W S 1$  を位置決めし、レチクル顕微鏡 142、144 を用いて前述した第 1 の実施形態の場合と同様に、露光光を用いて基準マーク板  $F M 1$  上のマーク  $M K 1$  ,  $M K 3$  とそれに対応するレチクル上マーク  $R M K 1$  ,  $R M K 3$  のウエハ面上投影像の相対位置検出、すなわちマーク  $M K 1$  ,  $M K 3$  と露光位置（投影光学系  $P L$  の投影中心）との相対位置関係の検出を行なった後、予め求められている基準マーク板  $F M 1$  上のマーク  $M K 2$  に対する各ショットの相対位置関係と露光位置と基準マーク板  $F M 1$  上マーク  $M K 1$  ,  $M K 3$  座標位置の相対位置関係より最終的に露光位置と各ショットの相対位置関係を算出し、その結果に応じて露光（前述した 2 重露光）を行なう（図 21 参照）。

この露光中に、露光位置に応じて測長軸  $B I 4 Y$  は反射面からはずれ計測不能となるが、既にウエハステージ  $W S 1$  の位置制御のための測長軸の切り換えが行なわれているので不都合は無い。

このようにして一方のウエハステージ  $W S 1$  側で露光シーケンスの動作が行なわれている間、他方のウエハステージ  $W S 2$  は、測長軸  $B I 2 X$  ,  $B I 5 Y$  の干渉計の計測値に基づいて位置制御がなされており、 $W$  交換シーケンス及びウエハアライメントシーケンスが実行されている。この場合、ウエハステージ  $W S 1$  側では、前述の如く、2 重露光が行なわれるので、ウエハステージ  $W S 2$  側のウエハ交換シーケンス及びウエ

ハアライメントシーケンスの動作の方が先に終了し、ウエハステージW S 2はその後待機状態となっている。

ウエハW 1の露光が全て終了した時点で、主制御装置9 0では測長軸B I 1 X, B I 3 Yの干渉計の計測値をモニタしつつ、測長軸B I 4 Yの干渉計ビームがウエハステージW S 1の反射面にて反射される位置までウエハステージW S 1を移動し、測長軸B I 4 Yの干渉計をリセットする。リセット動作終了後に、主制御装置9 0では再びウエハステージW S 1の制御のための測長軸を測長軸B I 1 X, B I 4 Yに切り換えてウエハステージW S 1をローディングポジションに移動する。

この移動中に、今度は測長軸B I 3 Yの干渉計ビームが反射面からはずれ計測不能となるが、既にウエハステージW S 1の位置制御のための測長軸の切り換えが行なわれているので不都合は無い。

主制御装置9 0では、ウエハステージW S 1のローディングポジションへ向けて移動させるのと並行して、ウエハステージW S 2の基準マーク板F M 2を投影光学系P Lの下へ位置決めすべく、ウエハステージW S 2の移動を開始する。この移動の途中で、前述と同様にして測長軸B I 3 Yの干渉計のリセットを実行し、その後、前述と同様にして、レチクル顕微鏡1 4 2、1 4 4を用いて基準マーク板F M 2上のマークM K 1, M K 3とそれに対応するレチクル上マークR M K 1, R M K 3のウエハ面上投影像の相対位置検出、すなわちマークM K 1, M K 3と露光位置（投影光学系P Lの投影中心）との相対位置関係の検出を行なった後、予め求められている基準マーク板F M 2上のマークM K 2に対する各ショットの相対位置関係と露光位置と基準マーク板F M 2上マークM

K 1, M K 3 座標位置の相対位置関係より最終的に露光位置と各ショットの相対位置関係を算出し、その結果に応じて露光（前述した 2 重露光）を開始する。

図 2 3 には、このようにしてウエハステージ W S 1 がローディングポジションまで移動され、ウエハステージ W S 2 側で露光シーケンスの動作が行なわれている時の様子が示されている。

このローディングポジションでは、第 1 の実施形態の場合と同様に、アライメント系 2 4 a の下に基準マーク板 F M 1 上のマーク M K 2 が位置づけられるようになっており、主制御装置 9 0 では、ウエハ交換終了と同時に第 1 のステージ座標系（B I 1 X, B I 4 Y）上でマーク M K 2 の座標位置を第 1 の実施形態の場合と同様にして検出する。次にウエハ W 1 上のマークに対して E G A 計測を実施し、同じ座標系における各ショットの座標位置を算出する。即ち、各ショットの座標位置から基準板 F M 1 上のマーク M K 2 の座標位置を減じてマーク M K 2 に対する各ショットの相対位置関係を算出する。この時点で E G A 動作を終了し、ウエハステージ W S 2 上ウエハ W 2 の露光終了を待って、再び図 2 2 の状態に移行することとなる。

以上説明した本第 2 の実施形態の投影露光装置によると、前述した第 1 の実施形態と同等の効果を得られる他、アライメントシーケンスの動作終了後、露光シーケンスの動作に切り換える際のステージの移動の途中で切り換え前と切り換え後にそれぞれ使用される測長軸が同時にウエハステージの反射面で反射されるようにし、また、露光シーケンスの動作終了後、ウエハ交換・アライメントシーケンスの動作に切り換える際



のステージの移動の途中で切り換え前と切り換え後にそれぞれ使用される測長軸が同時にウエハステージの反射面で反射されるようにしたこと  
から、測長用干渉計リセット後に投影光学系 P L を介した露光光アライ  
メントセンサ（レチクルアライメント顕微鏡 1 4 2, 1 4 4）により基  
準マーク板上のマーク計測を行い、ウエハ交換の際にもこれに先立って  
測長用干渉計のリセットを実行し、ウエハ交換終了後にオフアクシスア  
ライメントセンサ（アライメント系 2 4 a, 2 4 b）により基準板上の  
マーク計測を行うことが可能になる。従って、各アライメント系による  
アライメント動作と投影光学系 P L による露光動作との切り換えの途中、  
及び投影光学系 P L による露光動作とウエハ交換動作の切り換えの途中  
で、切り換え後の動作で使用する測長軸を有する干渉計にステージ制御  
の干渉計を切り換えることが可能となる。従って、基準マーク板上のマ  
ーク計測と同時に測長軸の切り換えを行っていた第 1 の実施形態の場  
合に比べて一層スループットの向上を図ることが可能となる。

なお、上記第 1、第 2 の実施形態では、本発明が二重露光法を用いて  
ウエハの露光を行なう装置に適用された場合について説明したが、これ  
は、前述の如く、本発明の装置により、一方のウエハステージ側で 2 枚  
のレチクルにて 2 回露光を行なう（二重露光）間に、独立に可動できる  
他方のウエハステージ側でウエハ交換とウエハアライメントを並行して  
実施する場合に、従来の一重露光よりも高いスループットが得られると  
ともに解像力の大幅な向上が図れるという特に大きな効果があるためで  
ある。しかしながら、本発明の適用範囲がこれに限定されるものではな  
く、一重露光法により露光する場合にも本発明は好適に適用できるもの  
である。例えば、8 インチウエハの各処理時間（T 1 ～ T 4）が前述と  
同様であるとする、本発明のように 2 つのウエハステージを使って一

重露光法で露光処理する場合、T 1、T 2、T 3を1グループとし（計30秒）、T 4（28秒）と並列処理を行なうと、スループットは $THOR = 3600 / 30 = 120$  [枚/時] となり、1つのウエハステージを使って一重露光法を実施する従来装置のスループット $THOR = 62$  [枚/時] に比べてほぼ倍の高スループットを得ることが可能となる。

また、上記実施形態では、ステップ・アンド・スキャン方式により走査露光を行う場合について説明したが、本発明がこれに限定されるものではなく、ステップ・アンド・リピート方式による静止露光を行う場合及びEB露光装置やX線露光装置、さらにはチップとチップを合成するステッチング露光時であっても同様に適用できることは勿論である。

### 〔第3の実施形態〕

第1実施形態では、2つのウエハステージWS 1、WS 2を使って異なる動作を同時並行処理することから、一方のステージで行われる動作が他方のステージの動作に影響（外乱）を与える可能性がある。このため、前述のように、2つのステージWS 1、WS 2上で行われる動作のタイミングを調整する必要がある。

この実施形態では図11、図12及び図24を使って、2つのステージWS 1、WS 2上で行われる動作のタイミング調整について説明する。第1実施形態で説明したように、図11には、ステージWS 1上に保持されるウエハW 1上の各ショット領域を順次露光する露光シーケンスのタイミングの一例が示され、図12には、これと並行処理されるステージWS 2上に保持されるウエハW 2上のアライメントシーケンスのタイミングが示されている。

前述のように、2つのステージWS1、WS2で行われる動作には、一方のステージ上で行われる動作が他方のステージ上の動作に影響を与える外乱要因動作と、逆に、一方のステージ上で行われる動作が他方のステージ上の動作に影響を与えない非外乱要因動作とがある。そこで、本実施形態では、並行処理が行われる動作の内、外乱要因動作と非外乱要因動作とに分けて、外乱要因動作同士、あるいは非外乱要因動作同士をできるだけ同時に行うようにタイミング調整を図っている。

図24に示される動作のタイミング調整を開始するに当たって、まず、主制御装置90は、露光動作を行う投影光学系PLの露光位置にステージWS1に保持されたウエハW1の露光開始位置を合わせるとともに、アライメント動作が行われるアライメント系24bの検出位置にステージWS2に保持されたウエハW2上のマークの検出開始位置に合わせた状態で、ステージ上で実行される動作開始コマンドが入力されるのを待機している。

そして、主制御装置90は、その動作開始コマンドが入力されると、ステップS2においてウエハW1上で行われる露光動作が外乱要因とならない動作（非外乱要因動作）であるか否かを判断する。ここで、ウエハW1上で行われるスキャン露光動作は、ウエハW1とレチクルRとを等速で同期走査させることから、他のステージに影響を及ぼさない非外乱要因動作である。しかし、その等速スキャン前後の加減速域やショット領域間を移動する際のステッピング動作中は、ステージWS1を加速・減速駆動するため外乱要因動作となる。また、ウエハW2上でアライメント動作を行う場合は、アライメント系にマークを合わせて静止状態

でマーク計測を行うため、他のステージに影響を及ぼすことのない非外乱要因動作となるが、計測するマーク間を移動するステッピング動作は、ステージWS2を加速・減速駆動するため外乱要因動作となる。

そこで、ステップS2において、ウエハW1上で行われる動作がスキャン露光中のように非外乱要因動作の場合は、他のステージWS2上でステッピング動作などの外乱要因動作が行われると露光精度が低下するため、ウエハW2上で並行処理される動作として外乱要因動作を排除する必要がある。従って、主制御装置90は、ステップS2の判断が肯定された場合、ウエハW2上で次に行われる動作が同時に実行可能な非外乱要因動作か否かを判断する（ステップS4）。ウエハW2上で同時に実行可能な非外乱要因動作としては、例えば、静止状態で行われるマーク検出動作がある。この場合には、上述した非外乱要因動作同士を同時に実行するようにする（ステップS6）。

また、ステップS4において、動作タイミングがずれたり、検出すべきマークが無い場合は、同時に実行可能な非外乱要因動作が無い場合、ステップS8に移ってウエハW1上でのスキャン露光動作を実行し、ウエハW2での処理動作を待機させる。そして、主制御装置90では、ステップS10においてウエハW1、W2上における非外乱要因動作が終了したか否かを判断し、終了していなければステップS6に戻って上記動作が繰り返し行われ、終了していれば次のステップS12で次の処理動作の有無が判断される。ステップS12において、次の処理動作がある場合は、ステップS2に戻って上記動作が繰り返され、また、次の処理動作が無い場合は終了する。

また、主制御装置 90 は、ステップ S 2 において、ステージ W S 1 をステッピング移動させてウエハ W 1 上のショット領域間を移動する場合、これを外乱要因動作と判断してステップ S 1 4 に移る。主制御装置 90 は、ウエハ W 2 上で次に行われる動作が同時に実行可能な外乱要因動作か否かを判断する（ステップ S 1 4）。ウエハ W 2 上で同時に実行可能な外乱要因動作としては、例えば、計測マーク間のステッピング移動などがある。そのため、ステップ S 1 6 において上記した外乱要因動作同士を同時に実行するようにする。

また、ステップ S 1 4 において、動作タイミングがずれたり、計測マーク間のステッピング移動が無い場合は、同時に実行可能な外乱要因動作が無い場合、ステップ S 1 8 に移ってウエハ W 1 上でのステッピング動作を実行し、ウエハ W 2 上での処理動作を待機させる。そして、主制御装置 90 では、ステップ S 2 0 においてウエハ W 1、W 2 上における外乱要因動作が終了したか否かを判断し、終了していなければステップ S 1 6 に戻って上記動作が繰り返し行われ、終了していればステップ S 1 2 に移って次に処理すべき動作の有無が判断される。ステップ S 1 2 において、次の処理すべき動作がある場合は、再びステップ S 2 に戻って上記動作が繰り返され、また、次に処理すべき動作が無い場合は終了する。

再び、図 1 1 及び図 1 2 を用いて、上記した 2 つのウエハ W 1、W 2 上における動作タイミングの一調整例を説明する。まず、図 1 1 に示されるウエハ W 1 上では、一点鎖線の矢印に沿って動作番号「1、3、5、7、9、11、13、15、17、19、21、23」で示されるスキャン露光動作（非外乱要因動作）が順次行われる。また、図 1 2 に示さ

れるウエハW 2上では、このスキャン露光動作に同期するように、動作番号「1、3、5、7、9、11、13、15、17、19、21、23、・・・」で示される各アライメントマーク位置において静止状態でマーク計測動作（非外乱要因動作）が行われていることがわかる。一方、アライメントシーケンスにおいても、スキャン露光中は等速運動なので外乱とはならず、高精度計測が行えることになる。

なお、図12のアライメントシーケンス（EGA）では、各ショット領域毎に2点のアライメントマークを計測しているが、図中のアライメントマークに動作番号が入っていないものがある。これは、例えば最初のアライメントショットにおける下側マーク（図中の動作番号3）の近傍に、次のアライメントショットの上側マーク（図中の動作番号4の手前）がある場合は、上記下側マークと同時に上側マークを計測するか、あるいは他方のウエハステージWS 1に対して同期精度に影響を与えない程度の加速度でウエハステージWS 2を微小距離移動させてから上側マークを計測するため、同じ動作番号（ここでは3）で表してある。これ以外のアライメントマークの動作番号についても同様にして計測が行われているものとする。

さらに、図11に示されるウエハW 1上では、スキャン露光を行うショット領域間のステッピング移動（外乱要因動作）が動作番号「2、4、6、8、10、12、14、16、18、20、22」で示されるタイミングで行われ、図12のウエハW 2上では、このウエハW 1のステッピング移動に同期するように、計測マーク間のステッピング移動（外乱要因動作）を動作番号「2、4、6、8、10、12、14、16、18、20、22、・・・」で示されるタイミングで行われる。



また、図 7 に示されるように、ウエハ W 1 でウエハの交換動作を行い、ウエハ W 2 でスキャン露光を行う場合、第 1 のロードアーム 1 8 8 からウエハ W 1 をセンターアップ 1 8 0 に受け渡す時に生じる振動等は外乱要因となる。しかし、この場合にウエハ W 2 をスキャン露光の前後で待機させるように主制御装置 9 0 がタイミング調整を行うことが考えられる。また、ウエハ W 2 において、ウエハとレチクルの同期走査が等速度になる前後の加減速時は、外乱要因となるため、これに同期させてウエハ W 1 の受け渡しを行うようにタイミング調整を行っても良い。

このように、主制御装置 9 0 は、2 つのステージにそれぞれ保持されたウエハ W 1、W 2 上で並行処理する動作の内、できるだけ外乱要因となる動作同士、あるいは非外乱要因となる動作同士を同期して行うように、動作タイミングを調整することにより、2 つのステージでそれぞれの動作を並行処理する場合であっても、互いに外乱の影響を受けないようにすることができる。上述したタイミング調整は、全て主制御装置 9 0 によって行われる。

次に、2 つのウエハステージ W S 1、W S 2 同士が接触するか否かの干渉条件について図 2 5 A、図 2 5 B を用いて説明する。図 2 5 A では、ウエハステージ W S 2 が投影光学系 P L の下であって、上述した T T R アライメント系によりウエハステージ W S 2 上の基準マーク板 F M 2 上の基準マークを観察している状態が示されている。この時のウエハステージ W S 2 の座標位置 (x, y) を (0, 0) とする。基準マーク板 F M 2 上の基準マークからウエハステージ W S 2 の左端の X 座標を (-W a) とすると、ウエハステージ W S 2 の左端の座標位置は (-W a, y)

となる。

また、ウェハステージWS 1の座標位置は、同じく投影光学系PLの下までウェハステージWS 1上の基準マーク板FM 1を移動させて基準マークを計測した時の座標位置を(0, 0)とし、そこから図25 Aに示されるウェハステージWS 1の位置までの移動量を(-X b)とし、基準マーク板FM 1の基準マークからウェハステージWS 1の右端のX座標を(W b)とすると、ウェハステージWS 1の右端の座標位置は(-X b + W b, y)となる。

ここで両方のウェハステージWS 1、WS 2が互いに干渉しない条件としては、ウェハステージWS 2の左端とウェハステージWS 1の右端とが接触しない状態であるため、 $0 < -W a - (-X b + W b)$ の条件式で表わすことができる。

また、これとは逆に、図25 Bでは、ウェハステージWS 1を図25 Aの状態から(-X a)の方向に所定距離移動させて、2つのウェハステージWS 1、WS 2が重なり合った状態を想定している(実際に2つのウェハステージは重なり合わないが、各ウェハステージを独立して制御する際に、各ステージの目標値が図25 Bのように設定される可能性がある)。この場合におけるウェハステージWS 2の左端の座標位置は、(-X a - W a, y)となり、両ウェハステージWS 1、WS 2が互いに干渉する条件として、ウェハステージWS 2の左端とウェハステージWS 1の右端とが接触するか重なり合う状態であるため、 $0 > -X a - W a - (-X b + W b)$ で示される条件式で表すことができる。

そして、上記条件式を基準点を同じ座標にした一般式で表すと、

$$W a + W b < X b - X a \cdots \cdots \text{条件式 1}$$

となり、この条件式 1 を満たしている場合は、2 つのウエハステージ同士が干渉することなく自由に移動することができる。

また、次の条件式 2 を満たす場合は、2 つのウエハステージ同士が接触して干渉が発生する。

$$W a + W b \geq X b - X a \cdots \cdots \text{条件式 2}$$

従って、主制御装置 9 0 は、できるだけ条件式 1 を満たす様に各ウエハステージ  $W S 1$ 、 $W S 2$  の移動を制御しつつ、条件式 2 を満たす状況が予想される場合は、いずれか一方のステージを待機させてステージ同士の干渉が発生するのを防止するように制御する必要がある。なお、上述した条件式 1 及び 2 は、説明を分かり易くするために 2 つに分けて説明したが、一方の条件式が他方の条件式の否定の関係にあるため、実質的には 1 つの条件式である。

そして、上記した条件式に基づいて主制御装置 9 0 により両ウエハステージを干渉させることなく移動制御を行う場合のシーケンスを図 2 6 のフローチャートを用いて説明する。まず、主制御装置 9 0 は、制御動作を開始するに当たって、2 つのウエハステージ  $W S 1$ 、 $W S 2$  の座標位置を同一の基準位置（ここでは、投影光学系  $P L$  の光軸位置）を原点  $(0, 0)$  とする干渉計の値を用いて計測し、必要なパラメータ（ここでは、 $W a$  と  $W b$ ）を予めメモリ 9 1 に格納された上記条件式 1 に代入する。

そして、主制御装置 9 0 は、ステージの移動制御が開始されると、干

渉計の測長軸 ( $B I 1 X$ ,  $B I 2 X$  等) に基づいて 2 つのウエハステージ  $W S 1$ ・ $W S 2$  の現在位置を把握するとともに、ステージ制御装置 38 に入力される駆動目標値に基づいて、将来的なステージ  $W S 1$ ・ $W S 2$  座標位置を演算して予測することができる。主制御装置 90 は、これら座標位置から 2 つのステージ  $W S 1$ ・ $W S 2$  の基準位置からの移動方向と移動距離 (ここでは、 $X b$  と  $X a$ ) を求めて上記条件式 1 に代入することにより、条件式 1 ( $W a + W b < X b - X a$ ) を満足するか否かを判断することができる (ステップ S 30)。

条件式 1 を満足する場合は、2 つのウエハステージ  $W S 1$ ・ $W S 2$  同士の干渉が起こらないため、両ステージ  $W S 1$ ・ $W S 2$  を独立して移動制御することができる (ステップ S 32)。

また、ステップ S 30 で条件式 1 を満足しない場合は、ウエハステージ  $W S 1$ ・ $W S 2$  間で干渉が発生するため、主制御装置 90 では、それぞれのステージ  $W S 1$ 、 $W S 2$  上で行われる動作の終了までの時間を比較する (ステップ S 34)。ここで、ステージ  $W S 1$  の方が早く終了する場合は、主制御装置 90 がステージ  $W S 1$  を待機させて、ウエハステージ  $W S 2$  を優先的に移動制御させる (ステップ S 36)。そして、主制御装置 90 は、ウエハステージ  $W S 2$  を移動制御している間に、上記条件式 1 を満足するような状況になったか否かを常に判断し (ステップ S 38)、条件式 1 が満足されない間はステップ S 36 に戻ってウエハステージ  $W S 2$  側を優先的に移動制御する。また、ステップ S 38 で条件式 1 を満足するようになった場合、主制御装置 90 は、待機状態にあるウエハステージ  $W S 1$  を解除して (ステップ S 40)、ウエハステージ  $W S 1$ ・ $W S 2$  をそれぞれ独立して移動制御するようにする (ステッ

プ S 3 2 ) 。

さらに、ステップ S 3 4 において、ステージ W S 2 の方が早く終了する場合は、主制御装置 9 0 がステージ W S 2 の方を待機させ、ウエハステージ W S 1 を優先的に移動制御する（ステップ S 4 2 ）。主制御装置 9 0 は、ウエハステージ W S 1 を移動制御している間に、上記条件式 1 を満足するような状況になったか否かを常に判断し（ステップ S 4 4 ）、条件式 1 を満足しない間はステップ S 4 2 に戻ってウエハステージ W S 1 を優先的に移動制御する。ステップ S 4 4 で条件式 1 を満足するような状況になった場合、主制御装置 9 0 は、待機状態にあるウエハステージ W S 2 を解除して（ステップ S 4 0 ）、ウエハステージ W S 1 ・ W S 2 を独立して移動制御するようにする（ステップ S 3 2 ）。

そして、主制御装置 9 0 は、ステージの移動制御を引き続き行う場合は、ステップ S 4 6 からステップ S 3 0 に戻って上記移動制御を繰り返し行い、ステージを移動制御しない場合は制御動作を終了する。

このように、主制御装置 9 0 は、上記条件式とステージ制御装置 3 8 を介して 2 つのステージ W S 1 ・ W S 2 を移動制御することにより、両ステージ同士が干渉しないようにすることが可能になる。

ところで、前述した二重露光法を実施する場合は、露光動作を 2 回繰り返すため、露光動作を行うステージ側の動作終了時間がアライメント動作を行っているステージ側よりも遅くなる。このため、ステージ同士の干渉が発生する場合は、先に動作が終了するアライメント側のステージを待機させ、露光側のステージを優先して移動させることになる。

ところが、アライメント側のステージでは、前述したファインアライメント動作だけではなく、ウェハ交換やサーチアライメント動作、あるいはこれ以外の動作を並行処理させても良いため、アライメント側のステージの動作時間は可能な限り短縮した方が望ましい。

そこで、図 2 7 B に示されるように、露光動作を行うウェハ W 2 側は、スループットの律速条件となるため、最も効率の良いステッピング順序が設定される (E 1 ~ E 1 2)。これに対して、図 2 7 A に示されるように、E G A によるアライメント動作を行うウェハ W 1 側では、露光ショットの内の数ショットがサンプルショットとして選択される。ここでは、例えば「A」印で示した 4 ショットが選択されたとすると、図 2 8 A に示されるアライメント側のウェハ W 1 のように、ウェハ W 2 の露光動作におけるステッピング順序に対応して移動されるように、アライメント側 (W 1) のステッピング順序の決定が為される。なお、図 2 8 B に示されるウェハ W 2 では、外乱の影響を抑える必要のある露光時における動作番号を数字 (1 ~ 1 2) で示しており、外乱に影響されないステッピング動作については矢印 (→) で示されている。

図 2 8 A に示されるように、E G A によるファインアライメント動作をウェハ W 1 で行う場合は、動作番号の 1 ~ 5 について同図 (B) に示されるスキャン露光が行われるウェハ W 2 に対応するショット領域に対してアライメント動作が行われるように移動順序が決定される。このように、アライメントショットの移動順序を露光ショットと同じにすることは、2 つのウェハステージが等間隔を保った状態で並行移動することになるため、干渉条件を満たすことなく移動制御することができる。



また、図 28 A に示されるウエハ W 1 では、動作番号が 5 から 6 にステップ移動する時に、1 行上のショット領域 A 3 へスキップしており、動作番号 7 の時にショット領域 A 4 にスキップするようにアライメント順序が決定されている。これは、スキャン露光を行う図 28 B のウエハ W 2 の動作番号 6 及び 7 で示されるショット領域を投影光学系 P L の下に持って来た場合、ウエハステージ W S 2 がウエハステージ W S 1 から離れた位置にあるため（アライメント系が固定でウエハ側が移動するため、動作番号 6、7 の位置ではウエハ W 2 が最も右寄りに位置する）、アライメント動作を行うウエハステージ W S 1 側を比較的自由に移動させることができるからである。この様に、ウエハ W 1 側を図 28 A のように移動させてアライメント動作を行うことにより、ファインアライメント時間を一層短縮することが可能となる。

また、上記したアライメントシーケンスにおけるサンプルショットとは異なり、1 ショット領域内毎に 1 点のアライメントマークを検出して全ショット領域をサンプルショットとする場合であっても、スループットを劣化させないようにすることができる。これは、ウエハ W 2 の露光順序に対応したショット領域のアライメントマークを順次計測するもので、上述したようにステージ間の干渉が発生しなくなる上、このような E G A を行った場合、平均化効果よりアライメント精度の一層の向上を期待することができる。

以上説明したように、本実施形態の投影露光装置 10 によると、2 枚のウエハをそれぞれ独立に保持した 2 つのウエハステージ上で行われる動作の内、互いに外乱要因となる動作同士、あるいは互いに外乱要因と

ならない動作同士を同期して行うように両ステージ動作を制御するようにしたため、走査露光を行う際の同期精度やアライメントの際のマーク計測精度を低下させることなく、アライメント動作と露光動作とを並行処理することができ、スループットを向上させることが可能になる。

また、上記実施形態によると、2つのウェハステージをX Yの2次元方向に独立して移動制御する場合は、予め2つのウェハステージが干渉する条件（干渉条件）を記憶しておき、その干渉条件をできるだけ満足しないように移動制御するようにしたため、両ステージの移動範囲をオーバーラップさせることができることから、フットプリントを小さくすることが可能となる。

更に、上記実施形態によると、2つのウェハステージをX Y方向に独立して移動させる際に、お互いのステージで干渉条件を満足するようになった場合、動作を切り換えるまでに先に動作の終了する方のステージ側を待機させ、他方のステージ側を優先的に移動制御する様にしたので、スループットを劣化させることなくステージ同士の干渉を防止することが可能となる。

また、上記実施形態によると、マーク計測を行うアライメントシーケンスにおいて、ウェハ上の複数のショット領域の内、任意のショットをアライメントショットとして選択する際に、できるだけ両ステージ間で干渉が無い様にアライメントショットの計測順序を決定するようにしたので、上記したようなステージ同士の干渉条件や一方のステージを待機させるような場合を極力抑えることが可能となる。

また、上記実施形態では、2つのウエハステージの移動方向ができるだけ同じ方向となるように、アライメントショット順序や露光ショット順序を決定するようにしたため、2つのウエハステージの移動範囲をできるだけ小さくすることができ、装置の小型化を図ることが可能となる。しかし、投影光学系とアライメント系とをある程度距離を離して設置可能な場合は、ベース盤上を移動する2つのウエハステージの移動方向をお互いに逆方向として左右対称に移動させても良い。これにより、ベース盤を支持する除振機構に加わる負荷が互いに相殺されるように働くことから、除振機構の出力を小さく抑えることができ、ステージ傾きや振動の発生が小さくなって振動収束時間を短くできるので、動作精度とスループットとを一層向上させることが可能となる。

また、上記実施形態では、アライメント動作及びウエハ交換動作と、露光動作とを並行処理する場合について述べたが、本発明は勿論これに限定されるものではなく、露光動作と並行して行われる可能性のあるものとして、例えば、ベースラインチェック（BCHK）、ウエハ交換が行われる度に行うキャリブレーション等のシーケンスについても同様に露光動作と並行処理するようにしても良い。

#### 〔第4の実施形態〕

次に、本発明の第4の実施形態を図29ないし図43に基づいて説明する。本第4の実施形態は、1つのウエハステージWSを使って先読みAF/AL計測を行いつつ、その計測結果に基づいてフォーカス・レベリング制御を行って露光を行うものである。

図29には、第4の実施形態に係る投影露光装置214の概略構成が

示されており、この投影露光装置 2 1 4 は、第 1 の実施形態と同様にステップ・アンド・スキャン方式の走査露光型の投影露光装置であって、図 1 に示される第 1 の実施形態の投影露光装置 1 0 と基本的な構成部分において同一であり、同一部分に同一符号を付して構成説明を省略する。第 1 の実施形態の投影露光装置 1 0 と異なる点は、ウエハステージ W S が 1 つで構成されており、先読み制御用のウエハ W 上の面位置を計測する A F / A L 系が、露光領域 I F の走査方向の一方側と他方側に設けられ、露光領域 I F の非走査方向の幅よりも広い範囲に複数の検出点が配列されるように構成された斜入射式の照射光学系 1 5 1 と集光光学系 1 6 1 とで構成されている点である。また、本第 4 の実施形態のウエハステージ W S には、ウエハ W を保持して Z 軸方向の微小駆動及び傾斜駆動させる基板駆動系としての Z ・ レベリングステージ L S を備えている。

これを露光領域 I F に対する先読み制御用の A F 検出点の配置を斜視図で示した図 3 0 で見ると、露光領域 I F の走査方向（+ Y 方向）には、非走査方向（± X 方向）に検出点 A F 1 ~ A F 9 で構成される検出領域 A F E（図 3 5 参照）が設けられ、露光領域 I F の非走査方向の幅よりも大きい範囲に配列されている。また、露光領域 I F の走査方向（- Y 方向）には、非走査方向（± X 方向）に検出点 A B 1 ~ A B 9 で構成される検出領域 A B E（図 3 5 参照）が設けられ、露光領域 I F の非走査方向の幅よりも大きい範囲に配列されている。これらの検出点 A F 1 ~ A F 9 及び検出点 A B 1 ~ A B 9 は、それぞれ露光領域 I F を走査する走査方向（+ Y 方向、- Y 方向）の手前側に配置されていて、各検出点におけるウエハ W 面が所定の基準面に対してどの程度ずれているかの相対位置がショット領域の露光に先立って検出される。

図 3 1 は、図 3 0 を走査方向から見た側面図であり、図 3 2 は、図 3 2 の平面図であり、図 3 3 は、図 3 2 を非走査方向から見た側面図である。

図 3 2 及び図 3 3 に示されるように、斜入射式の A F / A L 系の照射光学系 1 5 1 a 及び 1 5 1 b から射出された光束は、ウエハ W 面上の非走査方向に延びた検出点 A B 1 ~ A B 9 と検出点 A F 1 ~ A F 9 を形成し、ウエハ W 面にて反射された光束が斜入射式の A F / A L 系の集光光学系 1 6 1 a 及び 1 6 1 b にて受光されるようになっている。これは、投影光学系 P L の投影レンズの N. A. (開口数) が大きくなるにつれて投影レンズ下面とウエハ W 間のワーキングディスタンスが狭くなるため、露光領域 I F 内を斜入射 A F 系で計測できなくなるが、かかる場合であっても完全先読み計測を実行するためにこのようにしたものである。

また、図 3 1 及び図 3 3 に示されるように、本第 4 の実施形態の投影光学系 P L の下端付近の形状は、逆円錐台となっており、照射光学系 1 5 1 a 及び 1 5 1 b からの複数の照射光がウエハ W のそれぞれの検出点位置に照射され、ウエハ W 表面からの反射光が投影光学系 P L の両脇を通り抜けて、集光光学系 1 6 1 a 及び 1 6 1 b にて受光されるように構成されている。これは、A F 光束が投影光学系 P L の下端付近でけられないようにするためであり、N. A. の広がり部を投影光学系 P L の 4 5 ° 方向に合わせるとともに、投影光学系 P L を構成する投影レンズの収差を補正する為、投影光学系 P L の最下面に平行平板 2 1 6 が走査方向に合わせて長方形に配置されている。そして、その平行平板 2 1 6 の走査方向の前後には、一次元の非走査方向に延びた A F 検出点が + Y 走査用と - Y 走査用として 2 ヶ所に配置されている。これを例えば、米国

特許第 5, 4 4 8, 3 3 2 号に対応する特開平 6—2 8 3 4 0 3 号公報に記載されている様な 2 次元検出型の A F 機構と比べると、露光位置での A F 計測が出来ない反面、非走査方向に長くスポット群を形成する事が可能になるとともに、検出点が 1 次元に配列されているため、各 A F スポットの Z 方向面内湾曲によるオフセット誤差を容易に補正できるという利点がある。更に、2 方向入射により非走査方向に干涉縞を形成する方法を採用する場合などでは、その干涉縞の間隔誤差、位置変動より 1 次元画像処理にて A F / A L 位置を検出する 1 次元処理の先読み制御法であるので、本発明の適用が容易となる利点がある。また、光束が検出領域 A F E、A B E の 2 ヶ所に分かれているので、それぞれの光束を遮光しない様なカバーを設置し、カバー内に温度調節が為された気体を流すことで温度変化による A F / A L 精度を向上させる様にすれば、更に検出誤差を軽減する効果がある。

次に、本第 4 の実施形態の投影露光装置 2 1 4 により、ウエハ W の外周よりショット配列の方が大きい場合の先読み制御について説明する。例えば、図 4 2 は、ウエハ W の外周よりショット配列の方が大きい場合の先読み制御に関する比較例を示した図である。図 4 2 では、走査露光を行う露光領域 I F に対して走査方向（紙面上方の矢印方向：実際には露光領域 I F 及び A F 検出点 A F 1 ~ A F 5 が固定でこれらに対してウエハ W が走査されるが、便宜上図の露光領域 I F 及び A F 検出点がウエハ面に対して走査されるように図示する）の手前に、非走査方向に配列された A F 検出点 A F 1 ~ A F 5 が配列されている。この A F 検出点 A F 1 ~ A F 5 で構成される検出領域 A F B は、完全先読み制御を行うために A F 計測を行うもので、その検出領域 A F B の幅が露光領域 I F の非走査方向の幅とほぼ同じ幅で構成されている。この図 4 2（比較例）



のように構成された投影露光装置を用いて先読み制御をする場合は、図 4 3 に示されるように、ステージの移動に伴って A F 1 ～ A F 5 までの A F 出力値が得られる。この図 4 3 の横軸はステージの移動時間〔t〕を示し、縦軸はウエハ面位置に対する Z 方向の相対位置〔 $\mu$ m〕を示している。この図 4 3 の線図に示されるように、ウエハ W 面上にかかる検出点 A F 5 ～ A F 3 については、検出点が走査方向に移動するにつれて順次ウエハ面位置を示す様になるが、検出点 A F 2 及び A F 1 については最後までウエハ面上を通過しないため、正常な出力値が得られなくなる。このように、図 4 2 及び図 4 3 の比較例による 5 点計測で全ショット領域の先読み制御を実施しようとする、ウエハの外周近傍のショット領域ではエラーが発生してしまい、A F / A L 制御ができなくなることがあった。これを回避するため、ウエハ W の内側から外側に向かって走査しながら先読み制御を行ったり、隣接ショットのウエハ面位置の計測データを使って露光処理が為されるように、欠けショット領域における A F / A L 制御シーケンスに変える必要があった。

これに対し、本第 4 実施形態では、図 3 0 に示されるように、露光領域 I F に対して A F 検出点の非走査方向の幅を広げることにより、隣接するショット領域のウエハ面位置を計測することが可能となり、その計測結果を利用することによってエラーが発生し難い先読み制御を行うようにしたものである。

図 3 4 には、第 4 の実施形態に係る A F / A L 系を用いた先読み制御法を説明するウエハ W の平面図が示されている。この図 3 4 は、最も高速にウエハ W を露光することができる順序にて先読み制御を実施した場合の各ショット領域のグループ化を示したものである。図 3 5 には、フ

フォーカス計測時における露光領域 I F と A F 検出点の位置関係が示されている。ここで、各ショット領域毎にどの A F 検出点 (A F 1 ~ A F 9、A B 1 ~ A B 9) を使用して A F 計測を行うかを「A, B, C, D, E, F, A F, A B」の様にグルーピングを行って、これらの各グループ毎に使用する検出点位置を図 3 6 の表に示されるように予め決めておく。図 3 6 に示される表の横方向には、使用する A F 検出点 (A F 1 ~ A F 9、A B 1 ~ A B 9) の位置が示され、縦方向には各ショット領域をグルーピングしたグループ名が示されている。そして、それらのクロス位置に○印が付いた A F 検出点 (センサ) を使用して先読み制御が行われるように、主制御装置 9 0 により制御される。

例えば、図 3 7 は A グループ (例えば、図 3 4 の左端上のショット領域を露光する場合など) のショット領域 2 1 2 を露光する際に使用される A F 検出点とウエハ面の先読み制御開始時の位置関係を示している。この場合、露光領域 I F から走査方向に距離 L だけ離れた位置に存在する A F 検出点 A F 7、A F 8、A F 9 が用いられるように主制御装置 9 0 により制御される。ここで、図 3 7 に示される先読み制御開始時には、主制御装置 9 0 により指定された 3 つの A F 検出点 (A F 7、A F 8、A F 9) が全てウエハ面上に位置しているため、破線で示したショット領域 2 1 2 の露光が終了するまでこの 3 つの A F 検出点 A F 7、A F 8、A F 9 で計測された計測値に基づいて先読み制御を行うようにする。

この図 3 6 及び図 3 7 の場合は、ショット領域に応じて使用する A F 検出点が予め固定されている「A F 検出点固定法」である。図 3 7 の例におけるショット領域 2 1 2 内の実計測は、検出点 A F 7 だけであって、隣接するショット領域上の検出点 A F 8, A F 9 の計測値を用いること

により、先読みによるAF/AL制御を行うことができる。

また、ショット領域内において先読み制御時に欠けているAF検出点が無い場合、すなわち、図34に示されるグループAFやグループABの場合は、図36の表で指定されるショット領域内に位置する検出点AF3～AF7、AB3～AB7のみを用いて計測が行われ、ショット領域外の検出点AF1、AF2、AF8、AF9は使用されない。

また、図34に示されるグループEの場合は、図36の表で指定されるように、検出点AF1～AF5を用いて計測が行われる。このグループEでは、図34に示されるように、先読み制御の途中で検出点AF6及びAF7が計測可能となるので、この検出点AF6とAF7の計測値を使用した方が精度は高くなるが、ショット配列の設定時に一回の露光動作内で使用するAF検出点を変更する必要がない分、主制御装置90の制御処理が簡略化できるという利点がある。従って、制御処理に余裕がある場合は、検出点AF6及びAF7の計測値を使うようにして、一層高精度なフォーカス、レベリング制御を行うようにしても良い。

次に、上記以外の先読み制御法について説明する。図38は、使用するAF検出点の数を変えずにウエハW面上でAF計測が可能なセンサを順次走査方向の移動に合わせて、AF検出点を移動させて所定のショット領域に対してウエハ面のフォーカス計測を行うようにする「AF検出点移動型」である。先読み制御のAF計測方法としては、原理的に精度の最も優れた計測方法である。この「AF検出点移動型」を実施するにあたって、主制御装置90は、ウエハWを走査方向に移動させながらウエハWの周縁部に定められた禁止帯の内側の有効領域内にいずれ

のAF検出点がかかっているかを把握するため、ウエハの外周位置情報と、AF検出点の位置情報と、露光対象であるショット領域の位置情報とに基づいてAF検出点の切り換えを行うように制御する。例えば、図38の場合は、最初は検出点AF7、AF8、AF9の3つを用いて計測を行い、次に、検出点AF6、AF7、AF8、その次には、検出点AF5、AF6、AF7となり、最後に検出点AF4、AF5、AF6というように、ウエハ面上の有効領域内であって、できるだけショット領域212内の3つの検出点が選ばれるようにセンサの切り換えが行われる。これにより、ショット領域が設けられたウエハWの外周部を露光領域IFが外側から内側へ走査露光する場合であっても（実際には、移動しない露光領域IFに対してウエハW側が移動して相対走査が行われる）、先読み制御をすることによりウエハ面位置を投影光学系PLの結像面に迅速に追い込むことが可能となり、迅速かつ高精度なフォーカス、レベリング制御を行うことができる。切り換えの方法は、前述のように、グルーピングを行っても良いし、全センサの出力を常時モニターし、許容値内になった検出点を使用する様にしても良い。

また、図39では、使用するAF検出点の数に関係なく、計測可能な検出点であれば全て使用する「AFセンサ数、位置可変型」である。この場合、複数のAF検出点を使用することによって、平均化効果が高くなり、ウエハ外周部のソリ等の影響を受け難くできるという特徴がある。また、AF計測において再現性が悪い場合などでは、この効果は一層高くなる。この図39の場合も図38と同様に、主制御装置90は、ウエハWを走査方向に移動させながらウエハWの周縁部に定められた禁止帯の内側の有効領域内にいずれのAF検出点がかかっているかを把握するため、ウエハの外周位置情報と、AF検出点の位置情報と、露光対象で

あるショット領域の位置情報とに基づいて A F 検出点の切り換えを行うように制御する。ここでは、A F 検出点の数に限定がないため、A F 1 ～ A F 9 までの検出点のうち、有効領域内に含まれる検出点全てを使って A F / A L 計測を行うようにする。これにより、ウエハ W の外周近傍のショット領域を外側から内側へ走査露光する場合であっても、先読み制御を行うことによってウエハ面位置を投影光学系 P L の結像面に迅速に追い込むことが可能になり、迅速かつ高精度なフォーカス、レベリング制御を行うことができる。

以上述べたような先読み制御法を使って、例えば、米国特許第 5, 448, 332 号に対応する特開平 6 - 283403 号公報に記載されている技術に付加することにより、ウエハ外周近傍やウエハ内のショット領域の区別に関係なく、最も迅速に行える露光順序に従ってウエハ面の各ショット領域に対して、高速且つ高精度な走査露光を行う事が可能となる。

次に、上述した先読み制御を行うにあたって、いずれのデータを先読み計測データとして採用するかについて説明する。これは、例えば、露光領域 I F の走査方向の幅を 6 ～ 8 mm とし、露光時におけるウエハの走査速度を 80 ～ 90 mm / sec とすると、ウエハ面のうねり周波数にもよるが、先読み A F 検出点が露光時におけるウエハ走査速度に達するまでの加速 + 整定距離 ( L = 8 ～ 10 mm ) である事がスループット上不要な助走が無い分望ましい。これは、先読みの位置をデータファイル内のウエハの外周位置、ショット領域の座標位置、露光領域 I F から A F 検出点までの距離 L の情報により算出し、ウエハ外周のパターン禁止帯 ( 通常 3 mm 程度 : 図 30 参照 ) より先読み開始位置が内側になっ

ている場合にそのセンサを採用する事となるが、ウエハ外周はソリ、ゴミの影響を受け易く、データファイルに設定された先読み開始位置であったとしても、ウエハ面の位置を正確に表わしていない場合がある。

ここで、図40及び図41を用いて、上記場合における制御誤差をできるだけ小さくなるようにする点について説明する。図40では、上述した「AF検出点固定法」において、例えばグループCのようにAF検出点AF6～AF9を使用する場合、データファイル上の計算によると、先読み制御開始座標は図41中の①であるが、①はパターン禁止帯の影響を受け、かなりデフォーカスしているとする。この場合の各センサ出力値は、図41に示されるように、①の位置で先読み制御を開始すると、検出点AF6の影響によって、先読みによる計測結果は目標に対しかなり誤差を持つ場合は、AF検出点の最右端に位置するセンサであるので、レベリング制御に重大な影響を与えることになる。

仮に、先読み検出点が80mm/secで移動して走査時にはその70%の制御が可能な様に設計されている場合、右端に設けられた検出点AF6がZ軸方向に数 $\mu$ m以下の誤差であったならば、先読み制御時の平均化効果により小さい誤差で済む。ところが、Z軸方向に数十 $\mu$ mもの誤差がある場合は、その値を加味した結果を目標値としてレベリング制御を行うと、許容できない程度の誤差が発生することになる。このため、先読み検出点の計測開始時データをモニターした時の結果が許容範囲内である場合に先読み計測を開始するようにし、許容範囲を越える場合であれば許容範囲内となる点②まで先読み制御の計測結果を使用しないようにするのが望ましい。



また、上述した「AFセンサ位置移動型」や「AFセンサ数、位置可変型」では、許容範囲内となったAF検出点のみを使用するようにすることができる。

更に、各検出点間の計測誤差についても許容範囲を設定し、その許容範囲を超える原因となるAF検出点を除くAF検出点を用いる様にすれば、例えば、ウエハ裏面側に設けられたゴミ等の影響によってAFエラーが発生するような頻度を少なくすることができる。但しこれらの方法は、予めウエハ面を目標AFへの追い込み位置からの許容範囲内に入れておく必要があるため、ウエハアライメント時のフォーカス計測結果に基づいてグローバルAF又は、グローバルAF/ALを実行しておく必要がある。

以上説明したように、本第4の実施形態に係る投影露光装置214によれば、レチクルR上のパターンを投影光学系PLを介してウエハW上に走査露光する際に、ウエハW上の露光領域IFよりも非走査方向に広い領域に対して複数のAF検出点が配置されている。そして、ウエハW外周近傍のショット領域212を露光するのに先立って、ウエハW面上に複数のAF検出点の一部がかかった時点でフォーカスの先読み計測が開始され、その計測結果に基づいてフォーカス制御を開始するようにしたため、従来の走査型投影露光装置の先読み制御では計測できなかった内側のフォーカス情報を先読みデータとしてフォーカス制御に用いる事が可能である。従って、スループットを劣化させずに高精度なフォーカス制御を行うことができる。

また、複数のAF検出点におけるウエハW面上のAF検出点が一点で

ある場合に、露光時におけるレベリング制御は、隣接ショットのレベリング情報を用いるか、固定値（例えば、X方向の傾斜量、Y方向の傾斜量が共に「0」）を用いるようにしたため、ウエハの外周近傍の欠けショット領域であっても先読み制御を開始することができる。

更に、1点のウエハW面上のAF検出点にて先読み制御実行時に、それと異なるAF検出点がウエハW面上にかかってきた場合にその位置で先読み計測を開始し、露光開始までに両方の先読み計測結果を用いたレベリング制御が可能になった場合は、上述した隣接ショットのレベリングや固定値によるレベリング補正からショット内の先読み計測によるレベリング制御に切り換えるようにする。こうすることにより、外周部の欠けショットに対する先読み制御であっても高精度でフォーカス、レベリング制御を行うことができる。

また、先読み計測を行う場合に使用するAF検出点は、ウエハW上のショット配列が決定された時点でウエハWの外周位置情報、複数のAF検出点の位置情報、ウエハW上のショット領域の座標位置に基づいて決定したり、あるいは、先読み制御に用いるAF検出点による検出をウエハ走査時に常時実行して、いずれかの検出点での検出結果が許容値以内になった時点から先読み制御を開始するようにしたため、ウエハの外周エッジの影響を設計座標から予想以上に受けた場合に、その時点でフォーカス制御が開始される事がなくなり、大きなフォーカス、レベリング誤差の発生を防止することができる。

なお、上記第4の実施形態では、1つのウエハステージを使った場合で説明したが、上記第1～3の実施形態で説明したような2つのウエハ

ステージを使う場合であっても勿論実施することが可能である。この場合は、必ずしもアライメント系を使って事前にフォーカス計測を行う必要はないが、さらに高精度にする目的でアライメント系でフォーカス計測を行っても良い。また、アライメント系によるフォーカス計測を行わない場合は、その動作時間を他の動作時間として使用することができる利点がある。

#### [第5の実施形態]

以下、本発明の第5の実施形態を図44ないし図47に基づいて説明する。

図44には、第5の実施形態に係る露光装置100の構成が示されている。この露光装置100は、ステップ・アンド・リピート方式の縮小投影型露光装置（いわゆるステッパー）である。

この投影露光装置100は、照明系IOPと、マスクとしてのレチクルRを保持するレチクルステージRST、レチクルRに形成されたパターンの像を感応基板としてのウエハW上に投影する投影光学系PL、ウエハWを保持してベース12上をXY2次方向に移動可能な第1基板ステージとしてのウエハステージWS1及びウエハWを保持してベース12上をウエハステージWS1とは独立にXY2次元方向に移動可能な第2基板ステージとしてのウエハステージWS2、2つのウエハステージWS1、WS2のそれぞれの位置を計測する干渉計システム26と、CPU、ROM、RAM、I/Oインターフェース等を含んで構成されるミニコンピュータ（又はマイクロコンピュータ）から成り装置全体を統括制御する制御装置としての主制御装置28等を備えている。

前記照明系 I O P は、光源（水銀ランプ又はエキシマレーザ等）と、フライアイレンズ、リレーレンズ、コンデンサレンズ等から成る照明光学系とから構成されている。この照明系 I O P は、光源からの露光用の照明光 I L によってレチクル R の下面（パターン形成面）のパターンを均一な照度分布で照明する。ここで、露光用照明光 I L としては、水銀ランプの i 線等の輝線、又は K r F、A r F 等のエキシマレーザ光等が用いられる。

レチクルステージ R S T 上には不図示の固定手段を介してレチクル R が固定されており、このレチクルステージ R S T は、不図示の駆動系によって X 軸方向（図 4 4 における紙面左右方向）、Y 軸方向（図 4 4 における紙面直交方向）及び  $\theta$  方向（X Y 面内の回転方向）に微小駆動可能とされている。これにより、このレチクルステージ R S T は、レチクル R のパターンの中心（レチクルセンタ）が投影光学系 P L の光軸 A e とほぼ一致する状態でレチクル R を位置決め（レチクルアライメント）できるようになっている。図 4 4 では、このレチクルアライメントが行われた状態が示されている。

投影光学系 P L は、その光軸 A e がレチクルステージ R S T の移動面に直交する Z 軸方向とされ、ここでは両側テレセントリックで、所定の縮小倍率  $\beta$ （ $\beta$  は例えば  $1/5$ ）を有するものが使用されている。このため、レチクル R のパターンとウエハ W 上のショット領域との位置合わせ（アライメント）が行われた状態で、照明光 I L によりレチクル R が均一な照度で照明されると、パターン形成面のパターンが投影光学系 P L により縮小倍率  $\beta$  で縮小されて、フォトレジストが塗布されたウエハ

W上に投影され、ウエハW上の各ショット領域にパターンの縮小像が形成される。

また、本実施形態では、投影光学系P LのX軸方向一側（図4 4における左側）の側面には、ウエハステージW S 1, W S 2の露光時のX軸方向位置管理の基準となるX固定鏡1 4 Xが固定され、同様に投影光学系P LのY軸方向一側（図4 4における紙面奥側）の側面には、ウエハステージW S 1, W S 2の露光時のY軸方向位置管理の基準となるY固定鏡1 4 Yが固定されている（図4 6参照）。

前記ウエハステージW S 1, W S 2の底面には、不図示の気体静圧軸受がそれぞれ設けられており、これらの気体静圧軸受によってウエハステージW S 1, W S 2はベース1 2上面との間に数ミクロン（ $\mu\text{m}$ ）程度のクリアランスを介してそれぞれベース1 2上方に浮上支持されている。これらのウエハステージW S 1, W S 2のX軸方向一側（図4 4における左側）の面及びY軸方向一側（図4 4における紙面奥側）の面には、それぞれ鏡面加工が施され、干渉計システム2 6からの測長ビームを反射するための移動鏡として機能する反射面がそれぞれ形成されている。

また、ウエハステージW S 1, W S 2の底面には、マグネットがそれぞれ固定されており、ベース内の所定範囲（具体的には、投影光学系P L下方近傍の所定領域及びアライメント顕微鏡W A下方近傍の所定領域）に埋め込まれた不図示の駆動コイルによって発生する電磁力によりウエハステージW S 1, W S 2はベース1 2上をX Y 2次元方向に移動する。すなわち、ウエハステージW S 1, W S 2底面のマグネットとベース1

2内に埋め込まれた駆動コイルとによってウエハステージWS1、WS2の駆動装置としてのいわゆるムービングマグネット型のリニアモータが構成されている。このリニアモータの駆動コイルの駆動電流が、主制御装置28によって制御される。

ウエハステージWS1、WS2上には不図示のウエハホルダを介して真空吸着等によってウエハWがそれぞれ保持されている。また、これらのウエハステージWS1、WS2上には、その表面がウエハWの表面と同じ高さになるような基準マーク板FM1、FM2がそれぞれ固定されている。一方の基準マーク板FM1の表面には、図45の平面図に示されるように、その長手方向中央部に後述するウエハアライメント顕微鏡WAで計測するためのマークWMが形成され、このマークWMの長手方向両側に投影光学系PLを通してレチクルRとの相対的な位置計測に用いる一対のマークRMが形成されている。他方の基準マーク板FM2上にもこれとも全く同様のマークWM、RMが形成されている。

更に、本実施形態では、投影光学系PLからXY軸に対しほぼ45度の方向に所定距離、例えば3000mm離れた位置にウエハWに形成された位置検出用マーク（アライメントマーク）を検出するアライメント系としてのオフ・アクシス方式のアライメント顕微鏡WAが設けられている。ウエハWには、前層までの露光、プロセス処理により段差ができおり、その中には、ウエハ上の各ショット領域の位置を測定するための位置検出用マーク（アライメントマーク）も含まれており、このアライメントマークをアライメント顕微鏡WAにより計測するのである。

アライメント顕微鏡WAとしては、ここでは、画像処理方式のいわゆ



る F I A (field Image Alignment) 系のアライメント顕微鏡が用いられている。これによれば、ハロゲンランプ等のブロードバンドな照明光を発する不図示の光源から発せられた照明光が不図示の対物レンズを通過した後ウエハ W (又は基準マーク板 F M) 上に照射され、そのウエハ W 表面の不図示のウエハマーク領域からの反射光が対物レンズ、不図示の指標板を順次透過して不図示の C C D 等の撮像面上にウエハマークの像、及び指標板上の指標の像が結像される。これらの像の光電変換信号が信号処理ユニット 160 内の不図示の信号処理回路により処理され、不図示の演算回路によってウエハマークと指標との相対位置が算出され、この相対位置が主制御装置 28 に伝えられる。主制御装置 28 では、この相対位置と干渉計システム 26 の計測値とに基づいてウエハ W 上のアライメントマークの位置を算出する。

また、アライメント顕微鏡 W A の X 軸方向一側 (図 44 における左側) の側面には、ウエハステージ W S 1, W S 2 のアライメント動作時の X 軸方向位置管理の基準となる X 固定鏡 18 X が固定され、同様にアライメント顕微鏡 W A の Y 軸方向一側 (図 44 における紙面奥側) の側面には、ウエハステージ W S 1, W S 2 の露光動作時の Y 軸方向位置管理の基準となる Y 固定鏡 18 Y が固定されている。

なお、アライメント顕微鏡としては F I A 系に限らず、L I A (Laser Interferometric Alignment) 系や L S A (Laser Step Alignment) 系等の他の光アライメント系は勿論、位相差顕微鏡や微分干渉顕微鏡等の他の光学装置や、トンネル効果を利用して試料表面の原子レベルの凹凸を検出する S T M (Scanning Tunnel Microscope: 走査型トンネル顕微鏡) や原子間力 (引力や斥力) を利用して試料表面の原子分子レベル

の凹凸を検出する A F M (Atomic Force Microscope : 原子間力顕微鏡) 等の非光学装置等を使用することも可能である。

更に、本実施形態の投影露光装置 100 では、レチクル R の上方に、投影光学系 P L を介した基準マーク板 F M 上の基準マーク R M の像とレチクル R 上のレチクルアライメントマーク (図示省略) とを同時に観察するためのマーク位置検出器としてのレチクルアライメント顕微鏡 52 A、52 B が設けられている。レチクルアライメント顕微鏡 52 A、52 B の検出信号 S 1、S 2 は、主制御装置 28 に供給されるようになっている。この場合、レチクル R からの検出光をそれぞれレチクルアライメント顕微鏡 52 A、52 B に導くための偏向ミラー 54 A、54 B が当該各レチクルアライメント顕微鏡 52 A、52 B と一体的にユニット化されて、一対の顕微鏡ユニット 56 A、56 B が構成されている。これらの顕微鏡ユニット 56 A、56 B は、露光シーケンスが開始されると、主制御装置 28 からの指令により、不図示のミラー駆動装置によって、レチクルパターン面にかからない位置まで退避されるようになっている。

次に、ウエハステージ W S 1、W S 2 の位置を管理する図 44 の干渉計システム 26 について詳述する。この干渉計システム 26 は、実際には、図 46 に示されるように、X 軸方向位置計測用の第 1 のレーザ干渉計 26 X e と、Y 軸方向位置計測用の第 2 のレーザ干渉計 26 Y e と、X 軸方向位置計測用の第 3 のレーザ干渉計 26 X a と、Y 軸方向位置計測用の第 4 のレーザ干渉計 26 Y a とを含んで構成されているが、図 44 ではこれらが代表的に干渉計システム 26 として図示されている。

第1のレーザ干渉計26Xeは、X固定鏡14Xに対して投影光学系PLの投影中心を通るX軸方向のレファレンスビーム $X_{01}$ を投射するとともに、ウエハステージ(W S 1又はW S 2)の反射面に対して測長ビーム $X_{02}$ を投射し、これら2本のビームの反射光が一つに重ねられて干渉させられたその干渉状態に基づいて固定鏡14Xに対するウエハステージ反射面の変位を計測する。

また、第2のレーザ干渉計26Yeは、Y固定鏡14Yに対して投影光学系PLの投影中心を通るY軸方向のレファレンスビーム $Y_{01}$ を投射するとともに、ウエハステージ(W S 1又はW S 2)の反射面に対して測長ビーム $Y_{02}$ を投射し、これら2本のビームの反射光が一つに重ねられて干渉させられたその干渉状態に基づいて固定鏡14Yに対するウエハステージ反射面の変位を計測する。

また、第3のレーザ干渉計26Xaは、X固定鏡18Xに対してアライメント顕微鏡WAの検出中心を通るX軸方向のレファレンスビーム $X_{01}$ を投射するとともに、ウエハステージ(W S 1又はW S 2)の反射面に対して測長ビーム $X_{02}$ を投射し、これら2本のビームの反射光が一つに重ねられて干渉させられたその干渉状態に基づいて固定鏡18Xに対するウエハステージ反射面の変位を計測する。

また、第4のレーザ干渉計26Yaは、Y固定鏡18Yに対してアライメント顕微鏡WAの検出中心を通るY軸方向のレファレンスビーム $Y_{01}$ を投射するとともに、ウエハステージ(W S 1又はW S 2)の反射面に対して測長ビーム $Y_{02}$ を投射し、これら2本のビームの反射光が一つに重ねられて干渉させられたその干渉状態に基づいて固定鏡18Yに対

するウエハステージ反射面の変位を計測する。

ここで、レファレンスビーム $X_{.1}$ 及び測長ビーム $X_{.2}$ から成る第1のレーザ干涉計26Xeの測長軸を第1測長軸Xe、レファレンスビーム $Y_{.1}$ 及び測長ビーム $Y_{.2}$ から成る第2のレーザ干涉計26Yeの測長軸を第2測長軸Ye、レファレンスビーム $X_{.1}$ 及び測長ビーム $X_{.2}$ から成る第3のレーザ干涉計26Xaの測長軸を第3測長軸Xa、レファレンスビーム $Y_{.1}$ 及び測長ビーム $Y_{.2}$ から成る第4のレーザ干涉計26Yaの測長軸を第4測長軸Yaと呼ぶものとする、第1測長軸Xeと第2測長軸Yeとは、投影光学系PLの投影中心（光軸Ae中心と一致）で垂直に交差しており、第3測長軸Xaと第4測長軸Yaとは、アライメント顕微鏡WAの検出中心で垂直に交差している。これにより、後述するように、ウエハW上の位置検出用マーク（アライメントマーク）の計測時にも、ウエハW上へのパターンの露光時にもウエハステージのヨウイング等によるアッペ誤差の影響を受けることなく、それぞれの計測軸方向でウエハステージの位置を正確に計測できるようになっている。なお、測定精度を向上させるべく、上記第1ないし第4のレーザ干涉計として、2周波数のヘテロダイン干涉計を用いることがより一層望ましい。

図44に戻り、干涉計システム26の計測値は主制御装置28に供給され、主制御装置28ではこの干涉計システム26の計測値をモニタしつつ、前述したリニアモータを介してウエハステージWS1, WS2を位置制御する。

図46からも明らかなように、本第5の実施形態の場合、ウエハステージWS1又はWS2上のウエハWに対して投影光学系PLを介したレ

チクルパターンの露光が行なわれる間は、第2のレーザ干渉計26Xe, 26Yeによってウエハステージの位置が管理され、アライメント顕微鏡WAによりウエハW上の位置検出用マーク（アライメントマーク）の計測が行なわれる間は、第3、第4のレーザ干渉計26Xa, 26Yaによってウエハステージの位置が管理されるようになっている。しかしながら、露光が終了した後、あるいはアライメントマークの計測が終了した後は、各測長軸がそれぞれのウエハステージの反射面に当たらなくなるので、干渉計システム26によるウエハステージの位置管理は困難となる。

このため、本実施形態の投影露光装置100では、ウエハステージWS1を図46中に仮想線で示される第3位置と、図46中に実線で示される第2位置と、図46中でウエハステージWS2が位置する第1位置との3地点間で自在に移動させる移動装置としての第1のロボットアーム201と、同様にウエハステージWS2を上記第1位置と、第2位置と、第3位置との3地点間で自在に移動させる移動装置としての第2のロボットアーム221とが設けられている。これら第1、第2のロボットアーム201、221も主制御装置28によって制御され、これら第1、第2のロボットアーム201、221のウエハステージの位置制御精度は、概ね±1μm程度となっている。これらのロボットアーム201、221としては、公知の構成の有関節ロボットアームが用いられているので、詳細な説明は省略するが、上記の位置制御精度を確実に実現するために、図46中に符号24A、24Bで示されるような上下動ピンをストッパとして併せて設けるようにしても良い。

ここで、第3位置、第2位置及び第1位置について簡単に説明すると、

第3位置とは、外部の基板搬送機構の一部を構成する搬送アーム500とウエハステージ(W S 1、W S 2)との間でウエハWの受け渡しが行なわれるウエハ交換位置を意味し、第2位置とは、ウエハWのローディングが終了した後、ウエハステージ上のウエハWに対しアライメントが行なわれる位置であって第3測長軸X aと第4測長軸Y aとが共にウエハステージの反射面に当たる任意の位置を意味し、第1位置とは、ウエハのアライメントが終了した後、ウエハステージ上のウエハWに対し露光が行なわれる位置であって第1測長軸X eと第2測長軸Y eとが共にウエハステージの反射面に当たる任意の位置を意味する。

本実施形態では、上述したように、図46中に示される位置が、それぞれ第1位置、第2位置、第3位置として定められているものとするが、第2位置は、上記の定義を満足するのであれば、如何なる位置を定めてもよく、例えば、基準マーク板F M上のマークW Mがアライメント顕微鏡W Aの検出領域内となる位置を第2位置としても良い。同様に、第1位置も、上記の定義を満足するのであれば、如何なる位置を定めてもよく、例えば、基準マーク板F M上のマークR Mが投影光学系P Lの投影領域内となる位置を第1位置としても良い。

次に、上述のようにして構成された本実施形態の投影露光装置100の全体的な動作の流れを説明する。

①前提として、ウエハステージW S 1が第3位置にあり、ウエハステージW S 2が第1位置にあるものとする。まず、ウエハステージW S 1と搬送アーム500との間でウエハ交換が行なわれる。このウエハ交換は、ウエハステージW S 1上のセンターアップ(ウエハアップ機構)と



搬送アーム 500 によって前記実施例と同様に行なわれるので、ここでは詳細な説明するは省略するが、先に述べたようにロボットアームの位置決め精度は概ね  $\pm 1 \mu\text{m}$  以下なので、搬送アーム 500 の位置決め精度もこれとほぼ同程度であるものとする。このウエハ交換に先だって、ウエハ W は不図示のプリアライメント装置により X, Y,  $\theta$  方向に概略位置決めがなされており、ウエハステージ上へのロード位置が大きくずれることはなく、例えば基準マーク板 FM1 に対するウエハ W のロード位置も上記の  $\pm 1 \mu\text{m}$  以下の誤差範囲内となっている。

このウエハ交換中、ウエハステージ WS1 はレーザ干渉計で位置が管理されていないが、第 1 のロボットアーム 201 がウエハステージ WS1 を捉えているので、ウエハステージ WS1 が勝手な所に行くというような不都合は生じない。なお、第 1 のロボットアーム 201 により捉えられている間は、ウエハステージ WS1 を駆動するリニアモータは停止しているものとする（以下において同じ）。

ウエハ交換（ウエハステージ WS1 上へのウエハ W のロード）が終了すると、主制御装置 28 では、第 1 のロボットアーム 201 を制御してウエハステージ WS1 を図 46 中に実線で示される第 2 位置へ移動させ、この位置で、第 3、第 4 のレーザ干渉計 26 X a, 26 Y a を同時にリセットする。このリセットが終了すると、第 1 のロボットアーム 201 はここでの役目を終えるので、該第 1 のロボットアーム 201 は主制御装置 28 からの指示に応じて不図示の駆動系によりウエハステージ WS1 を離れて邪魔にならない位置に待避される。

上記の第 3、第 4 のレーザ干渉計 26 X a, 26 Y a のリセット終了

後、主制御装置 28 では干渉計 26 X a, 26 Y a の計測値をモニタしつつ、ウエハステージ W S 1 上の基準マーク板 F M 1 上のマーク W M がアライメント顕微鏡 W A の検出領域内に位置決めされるようにウエハステージ W S 1 を前述したリニアモータを介して位置制御する。ここで、第 1 のロボットアーム 201 による第 2 位置への位置決め精度は、前述の如く、概ね  $\pm 1 \mu\text{m}$  以下が可能であり、この第 2 位置で干渉計測長軸がリセットされているので、その後は  $0.01 \mu\text{m}$  程度の分解能で設計値（ウエハステージ W S 1 の反射面と基準マーク板上のマーク W M との設計上の相対位置関係）に基づいて位置制御が可能であり、結果的に、アライメント顕微鏡 W A によるマーク W M 計測にとって十分な精度でウエハステージ W S 1 が位置決めされる。なお、第 2 位置を、ウエハステージ W S 1 上の基準マーク板 F M 1 上のマーク W M がアライメント顕微鏡 W A の検出領域内に位置決めされる位置に設定する場合には、上記の干渉計リセット後のウエハステージ W S 1 の移動は不要であるので、スループットの面ではより一層望ましい。

次に、アライメント顕微鏡 W A によって該アライメント顕微鏡 W A の検出中心（指標中心）を基準とする基準マーク板 F M 1 上のマーク W M の位置（ $\Delta W_x$ ,  $\Delta W_y$ ）が計測され、主制御装置 28 ではこの計測中の第 3、第 4 のレーザ干渉計 26 X a, 26 Y a の計測値の平均値（ $X_0$ ,  $Y_0$ ）を求める。これによりレーザ干渉計 26 X a, 26 Y a の計測値が（ $X_0 - \Delta W_x$ ,  $Y_0 - \Delta W_y$ ）を示すとき基準マーク板 F M 1 上のマーク W M がアライメント顕微鏡 W A の検出中心（指標中心）の真下にいることが分かる。上記の第 3、第 4 のレーザ干渉計 26 X a, 26 Y a のリセット後の一連の動作を以下においては W - S E T と呼ぶものとする。

このようにして、一方のウエハステージWS1上でウエハ交換、干渉計リセット及びWSETの一連の動作が行なわれる間に、他方のウエハステージWS2上では、次のような動作が行なわれる。

すなわち、ウエハステージWS2は、前述の如く、第2のロボットアーム221により第1位置へ移動されており、この第1位置への位置決め制御も $\pm 1 \mu\text{m}$ 以下の精度で行なわれている。この第1位置へのウエハステージWS2の移動が完了すると同時に、主制御装置28では第1、第2のレーザ干渉計26Xe, 26Yeをリセットする。

この第1、第2のレーザ干渉計26Xe, 26Yeのリセットが終了すると、第2のロボットアーム221はここでの役目を終えるので、該第2のロボットアームは主制御装置28からの指示に応じて不図示の駆動系によりウエハステージWS2を離れて邪魔にならない位置に待避される。

次に、主制御装置28ではレーザ干渉計26Xe, 26Yeの計測値をモニタしつつ、基準マーク板FM2上のマークRMが、投影光学系PLの投影領域内でレチクルRに形成されているレチクルアライメントマーク（図示省略）に投影光学系を介して重なる位置に、位置決めされるように、リニアモータを介してウエハステージWS2の位置を制御する。この場合、第2のロボットアーム221による第1位置への位置決め精度は、前述の如く、概ね $\pm 1 \mu\text{m}$ 以下が可能であり、この第1位置で干渉計測長軸がリセットされているので、その後は $0.01 \mu\text{m}$ 程度の分解能で設計値（ウエハステージWS2の反射面と基準マーク板FM2上

のマーク R M との設計上の相対位置関係) に基づいて位置制御が可能であり、結果的に、レチクルアライメント顕微鏡 5 2 A、5 2 B でレチクルアライメントマークと基準マーク板 F M 上のマーク R M を同時に観測するには必要十分な精度でウエハステージ W S 2 は位置決めされる。

次に、レチクルアライメント顕微鏡 5 2 A、5 2 B によってレチクル R 上のレチクルアライメントマークと基準マーク板 F M 2 上のマーク R M の相対間隔 ( $\Delta R X$ ,  $\Delta R Y$ )、すなわち投影光学系 P L の投影領域内の所定の基準点としてのレチクル R のパターン像の投影中心に対するウエハステージ W S 2 上の基準点である基準マーク R M 中心との位置ずれ ( $\Delta R X$ ,  $\Delta R Y$ ) が計測され、主制御装置 2 8 では、このレチクルアライメント顕微鏡 5 2 A、5 2 B の計測値を取り込むと同時に、その時のレーザ干渉計 2 6 X e, 2 6 Y e の計測値 ( $X_i$ ,  $Y_i$ ) を読み取る。これにより、レーザ干渉計 2 6 X e, 2 6 Y e の計測値が ( $X_i - \Delta R x$ ,  $Y_i - \Delta R Y$ ) となる位置が、レチクルアライメントマークと基準マーク板 F M 2 上のマーク R M がちょうど投影光学系 P L を介して重なる位置であることが分かる。上記の第 1、第 2 のレーザ干渉計 2 6 X e, 2 6 Y e のリセット後の一連の動作を以下においては R - S E T と呼ぶものとする。

②次に、ウエハステージ W S 1 側のウエハアライメントとウエハステージ W S 2 側の露光とが並行して行なわれる。すなわち、前述した第 3、第 4 のレーザ干渉計 2 6 X a、2 6 Y a のリセット後は、ウエハステージ W S 1 の位置は、レーザ干渉計 2 6 X a、2 6 Y a の計測値に基づいて管理されており、主制御装置 2 8 ではウエハ W 上の複数のショット領域の内、予め定められた特定のサンプルショットの位置検出用マーク (

アライメントマーク)位置の計測を、干渉計26Y a、26X aの計測値をモニタしつつリニアモータを介してウエハステージWS1を順次移動して、アライメント顕微鏡WAの出力に基づいて(X a, Y a)座標系上で行なう。この場合、基準マーク板FM1上のマークWMがアライメント顕微鏡WAの検出中心の真下に来るときの干渉計の計測値( $X_0 - \Delta x$ ,  $Y_0 - \Delta y$ )が求まっているため、この値と、基準マークWAと各アライメントマークの相対位置の設計値とに基づいてウエハW上の各アライメントマークをウエハアライメント顕微鏡WAの検出領域内に位置決めするためにはレーザ干渉計26Y a、26X aの計測値がどの値を示す位置にウエハステージWS1を移動させれば良いかが演算で求められ、この演算結果に基づいてウエハステージWS1が順次移動される。

ウエハWのX、Y、 $\theta$ の位置合わせのためには、最低でもX計測マーク2個とY計測マーク1個(またはX計測マーク1個とY計測マーク2個)を計測を行なえば足りるが、ここでは、EGAサンプルショットとして、一直線上に無いX計測マーク3個以上、一直線上に無いY計測マーク3個以上の計測が行なわれるものとする。

そして、この計測した各サンプルショットのアライメントマーク(ウエハマーク)位置と設計上のショット領域の配列データとを用いて、例えば米国特許第4,780,617号に対応する特開昭61-44429号公報等の開示されるような最小自乗法による統計演算を行なって、ウエハW上の上記複数ショット領域の全配列データを求める。但し、計算結果から先に求めた基準マーク板FM1上のマークWMがアライメント顕微鏡WAの検出中心の直下に来たときの干渉計の値( $X_0 - \Delta x$ ,  $Y_0 - \Delta y$ )

。  $-\Delta_v$  ) と差をとって、基準マーク板 F M 1 上の基準マーク W A を基準とするデータに変換しておくことが望ましい。これにより、基準マーク板 F M 1 上のマーク W M とウエハ W 上の各ショット領域の基準点との相対的な位置関係が必要にして十分に分かる。

このようにして、ウエハステージ W S 1 側でファインアライメント ( E G A ) が行なわれるのと並行して、ウエハステージ W S 2 側では、次のようにしてレチクル R のパターン像とウエハ W 上のショット領域の既成のパターンとの重ね合わせ露光が行なわれる。

すなわち、主制御装置 2 8 では上記の位置ずれ誤差の計測結果と、そのときのウエハステージ W S 2 の座標位置 (  $X_e$  ,  $Y_e$  ) と、予めアライメント動作により上記と同様にして算出している基準マーク板 F M 2 上の基準マーク W A を基準とする各ショットの配列座標データとに基づいて、干渉計 2 6  $Y_e$ 、2 6  $X_e$  の計測値をモニタしつつウエハ W 上の各ショット領域を露光位置に位置決めしつつ、照明光学系内のシャッタを開閉制御しながら、ステップ・アンド・リピート方式でレチクルパターンをウエハ W 上に順次露光する。ここで、ウエハステージ W S 2 上のウエハ W に対する露光に先立って、干渉計 2 6  $X_e$ 、2 6  $Y_e$  をリセットしている ( 干渉計の測長軸が一旦切れている ) にもかかわらず、高精度な重ね合わせが可能な理由について、詳述すると、基準マーク板 F M 2 上のマーク W M とマーク R M との間隔は既知であり、これに先立って行われたファインアライメント ( E G A ) により前述と同様にして基準マーク板 F M 2 上のマーク W M とウエハ W 上の各ショット領域の基準点との相対的な位置関係が算出されており、レチクル R 上のレチクルアライメントマークがウエハステージ W S 2 上のどこに存在するか ( 即ち、



投影光学系 P L の投影領域内の所定の基準点であるレチクルのパターン像の投影中心（投影光学系 P L の投影中心とほぼ一致）とウエハステージ W S 2 上の基準点であるマーク R M との相対位置関係）も計測されているので、これらの計測結果に基づき、第 1、第 2 のレーザ干渉計 2 6 X e、2 6 Y e の計測値がどの値になればレチクル R のパターン像とウエハ W 上各ショット領域がぴったり重なるかは明白だからである。

③上述のようにして、ウエハステージ W S 1 側でファインアライメント（E G A）が終了し、ウエハステージ W S 2 側でウエハ W 上の全てのショット領域に対するレチクルパターンの露光が終了すると、ウエハステージ W S 1 を投影光学系 P L の下方の第 1 位置へ移動し、ウエハステージ W S 2 をウエハ交換位置である第 3 位置に移動する。

すなわち、ウエハステージ W S 1 は主制御装置 2 8 からの指示に応じて第 1 のロボットアーム 2 0 1 によって捕捉され、第 1 位置へ移動される。この第 1 位置への位置決め制御も  $\pm 1 \mu\text{m}$  以下の精度で行なわれる。この第 1 位置へのウエハステージ W S 1 の移動が完了すると同時に、主制御装置 2 8 では第 1、第 2 のレーザ干渉計 2 6 X e、2 6 Y e をリセットする。

このリセットが終了すると、第 1 のロボットアーム 2 0 1 はここでの役目を終えるので、該第 1 のロボットアーム 2 0 1 は主制御装置 2 8 からの指示に応じて不図示の駆動系によりウエハステージ W S 1 を離れて邪魔にならない位置に待避される。

次に、主制御装置 2 8 では先に述べたウエハステージ W S 2 側と同様

にして、R - S E Tを行なう。これにより、レチクルアライメントマークと基準マーク板 F M 1 上のマーク R M の相対間隔 ( $\Delta R_x$ ,  $\Delta R_y$ )、すなわち投影光学系 P L の投影領域内の所定の基準点としてのレチクル R のパターン像の投影中心に対するウエハステージ W S 2 上の基準点である基準マーク R M 中心との位置ずれ ( $\Delta R_x$ ,  $\Delta R_y$ ) 及びこの位置ずれ計測時のステージ座標位置 ( $X_i$ ,  $Y_i$ ) が計測される。

ウエハステージ W S 1 側で上述のようにして、干渉計リセット及び R - S E T が行われる間に、主制御装置 2 8 からの指示に応じて第 2 のロボットアーム 2 2 1 が露光動作が終了したウエハステージ W S 2 を捕捉し、ウエハ交換のためウエハ受け渡し位置 (第 3 位置) にウエハステージ W S 2 を移動させ、以後前述したウエハステージ W S 1 側と同様にしてウエハ交換、干渉計リセット及び W - S E T が行われる。

④次いで、主制御装置 2 8 では、前述と同様に、ウエハステージ W S 1 側でステップ・アンド・リピート方式でレチクルパターンがウエハ W 上に順次露光されるのと並行して、ウエハステージ W S 2 側でファインアライメント (E G A) が行なわれるように両ステージの動作を制御する。

⑤その後は、これまでに説明した①～④の動作が順次繰り返されるように、主制御装置 2 8 によって、両ステージ W S 1、W S 2 の動作、第 1、第 2 のロボットアームの動作が制御される。

以上説明した、両ステージ W S 1、W S 2 上で行われるの並行動作の流れが、図 4 7 に示されている。

以上説明したように、本第5の実施形態に係る投影露光装置100によると、ウエハステージWS1及びウエハステージWS2の内の一方のステージ側の露光動作と他方のステージ側のファインアライメント動作を並行して行なうことができるので、ウエハ交換（サーチアライメントを含む）、ファインアライメント、露光をシーケンシャルに行なっていた従来技術に比べて、スループットの大幅な向上が期待できる。通常、露光処理シーケンスの中では、ファインアライメント動作と露光動作に要する時間の割合が大きいからである。

また、上記実施形態によると、干渉計システム26の測長軸が切れることを前提としているので、各ウエハステージの反射面（移動鏡を用いる場合は該移動鏡）の長さは、ウエハ直径より僅かに長い程度で十分であることから、測長軸が切れてはいけないことを前提としていた従来技術に比べて、ウエハステージの小型・軽量化が可能であり、これによりステージ制御性能の向上が期待される。

さらに、上記実施形態では、干渉計システムの測長軸が切れることを前提とし、アライメント前、露光前それぞれにおいてステージ上の基準マーク板FM上のマーク位置を測定するので、投影光学系PLの投影中心とアライメント顕微鏡WAの検出中心との中心間距離（ベースライン量）はいくら長くなっても特に不都合はなく、投影光学系PLとアライメント顕微鏡WAの間隔をある程度十分に離して、ウエハステージWS1とウエハステージWS2とが干渉等を生じることなく、ウエハアライメントと露光とを時間的に並行して行なうことができる。

また、上記実施形態では、投影光学系 P L の投影中心で垂直に交差する第 1 測長軸 X e と第 2 測長軸 Y e 、及びアライメント顕微鏡 W A の検出中心で垂直に交差する第 3 測長軸 X a と第 4 測長軸 Y a を干渉計システム 2 6 が備えていることから、アライメント動作時及び露光時のいずれの時においてもウエハステージの 2 次元位置を正確に管理することができる。

これに加え、投影光学系 P L の側面、アライメント顕微鏡 W A の側面に干渉計用固定鏡 1 4 X、1 4 Y、1 8 X、1 8 Y を固定したことから、アライメント計測中、露光中に固定鏡位置の変動がない限り、仮に経時的変化や装置の振動等によって固定鏡位置が変動しても、この変動によりウエハステージの位置制御精度が低下する等の不都合が生じることがない。従って、例えば、アライメント顕微鏡 W A を上下動可能な構成にしても何らの不都合をも生じない。

なお、上記第 5 の実施形態では、第 1、第 2 のロボットアーム 2 0 1、2 2 1 により、ウエハステージ W S 1、ウエハステージ W S 2 を第 1 位置、第 2 位置及び第 3 位置の 3 地点間で移動させる場合について説明したが、本発明がこれに限定させるものではなく、例えば第 2 位置でウエハ交換を行なうようにする場合には、第 1、第 2 のロボットアーム 2 0 1、2 2 1 により、ウエハステージ W S 1、ウエハステージ W S 2 を第 1 位置と第 2 位置間で移動させるようにしても良い。この場合には、主制御装置 2 8 では、ウエハステージ W S 1 及びウエハステージ W S 2 の内の一方向のステージ上のウエハ W の露光動作と、他方のステージ上のウエハ W のアライメント動作とが並行して行われるように両ステージの動作を制御した後に、第 1、第 2 のロボットアーム 2 0 1、2 2 1 により

両ステージの位置を入れ替えることとなる。

また、上記第5の実施形態では、E G A計測に基づいてステップ・アンド・リピート方式の露光がステージ上のウエハWに対して行われる場合について説明したが、これに限らず、ダイ・バイ・ダイによってアライメント、露光を繰り返しながらウエハW上の各ショット領域に順次レチクルのパターン像を投影露光しても良い。この場合であっても、アライメント時にステージ上の基準マーク板F Mに形成されたマークWMに対する各アライメントマークの相対位置が計測されるので、この相対位置に基づいて上記と同様にして、各ショット領域にレチクルパターン像を重ね合わせることができる。かかるダイ・バイ・ダイ方式は、ウエハW上のショット領域の数が少ない場合に採用することが望ましい。ショット領域の数が多い場合は、スループットの低下を防止する観点から考えて前述したE G Aによる方が望ましい。

また、上記第5の実施形態では、第1のロボットアーム201が一方のステージWS1を第1位置、第2位置及び第3位置の3地点間で移動させ、第2のロボットアーム221が他方のステージWS2を第1位置、第2位置及び第3位置の3地点間で移動させる場合について説明したが、本発明がこれに限定されることはなく、例えば一方のロボットアーム201がステージWS1（又はWS2）を第1位置から第3位置まで運ぶ途中で第1位置、第2位置及び第3位置以外のある位置まで運んで放し、他方のロボットアーム221が該ステージWS1（又はWS2）をこの位置から第3位置まで移動させる等の方式を採用することにより、一方のロボットアーム201を両ステージの第2位置と第1位置との搬送専用とし、他方のロボットアーム221を両ステージの第3位置と第2位

置との搬送専用とすることも可能である。

また、干渉計システム 26 を構成する各レーザ干渉計として、多軸の干渉計を用い、ウエハステージの X、Y の並進位置のみでなく、ヨーイングや、ピッチングをも計測するようにしても良い。

#### [第 6 の実施形態]

次に、本発明の第 6 の実施形態を図 48 に基づいて説明する。ここで、前述した第 5 の実施形態と同一若しくは同等の構成部分については、同一の符号を用いるとともにその説明を省略するものとする。

この第 6 の実施形態は、ウエハステージ W S 1 が、ステージ本体 W S 1 a と、このステージ本体 W S 1 a 上に着脱可能な同一形状の基板保持部材 W S 1 b との 2 部分に分離可能に構成され、同様にウエハステージ W S 2 が、ステージ本体 W S 2 a と、このステージ本体 W S 2 a 上に着脱可能な同一形状の基板保持部材 W S 2 b との 2 部分に分離可能に構成されている点に特徴を有する。

基板保持部材 W S 1 b、W S 2 b には、ウエハ W が不図示のウエハホルダを介して吸着保持されているとともに、干渉計用移動鏡として機能する反射面がその側面にそれぞれ形成されている。また、これらの基板保持部材 W S 1 b、W S 2 b には、その上面に基準マーク板 F M 1、F M 2 がそれぞれ設けられている。

本第 6 の実施形態では、前述した第 5 の形態とほぼ同様にして、ウエハステージ W S 1、W S 2 上で並行処理が行われるが、一方のステージ



側でアライメント動作が終了し、他方のステージ側で露光動作が終了した時点で、主制御装置 28 により第 1、第 2 のロボットアーム 201、221 が制御され、アライメント動作が終了したステージ側の基板保持部材 WS1b（又は WS2b）が第 1 位置で停止しているステージ本体 WS2a 上に搬送（移動）されるのと並行して、露光が終了したステージ側の基板保持部材 WS2b（又は WS1b）が第 2 位置で停止しているステージ本体 WS1a 上に搬送され、このようにして基板保持部材 WS1b、WS2b の交換が行われる。基板保持部材 WS1b、WS2b が交換される際、干渉計システム 26 の測長軸は切れるためウエハステージ WS1、WS2 の位置管理が不能となるので、その間はステージストッパ 30a、30b が出てきて両ステージ本体 WS1a、WS2a をその位置に保持するようになっている。この場合、ウエハ交換は、不図示の搬送アームにより第 2 位置で行われる。

ここで、本第 6 の実施形態では、図 48 から容易に想像されるように、第 2 位置として、例えば基準マーク板 FM 上のマーク WM がアライメント顕微鏡 WA の検出領域内となる位置が、第 1 位置として、基準マーク板 FM 上のマーク RM が投影光学系 PL の投影領域内となる位置がそれぞれ定められており、従って、主制御装置 28 により基板保持部材 WS1b、WS2b のステージ本体上への移動とともに干渉計システム 26 の測長軸のリセット及び R－SET 又は W－SET が行なわれることとなる。

この第 6 の実施形態によっても、前述した第 5 の実施形態と同等の効果を得ることができる。なお、上記第 6 の実施形態では、第 1、第 2 のロボットアーム 201、221 が基板保持部材を第 1 位置と第 2 位置間

で移動させる場合について説明したが、第 1、第 2 のロボットアーム 201、221 が、前述した第 1 の実施形態と同様に、基板保持部材を第 1 位置、第 2 位置及び第 3 位置の 3 地点間で移動させるようにしても良い。この場合には、ウエハ交換を投影光学系 PL、アライメント顕微鏡 WA と無関係な所で行なうことができるので、例えばアライメント顕微鏡 WA 下方のワーキングディスタンスが狭い場合であっても、アライメント顕微鏡 WA がウエハ交換の障害になる等の不都合がない。

なお、上記第 5、第 6 の実施形態では、干渉計システム 26 の測長軸が一旦切れる際の対策として、ロボットアームや、ステージストッパなるものを使用する場合について説明したが、これに限らず、例えばウエハステージ下面に二次元グレーティングを刻んでおき、ステージ走り面の下から光学式のエンコーダにより位置を読み取っても良く、干渉計測長軸が一旦切れた状態でステージを次の位置へ正確に移動させることができる装置、又はステージ本体を所定の位置で停止させたまま保持できるものであれば、如何なる装置を用いても良い。

また、上記第 5、第 6 の実施形態では、独立に移動するウエハステージが 2 つ設けられた場合について説明したが、独立に移動するウエハステージを 3 つ以上設けても良い。ウエハステージを 3 つ設けた場合には、例えば露光動作、アライメント動作、ウエハ平坦度測定動作を並行して行なうことができる。また、投影光学系 PL やアライメント顕微鏡 WA を複数設けて良い。投影光学系が複数ある場合には、アライメント動作と異なる二種類のパターンの露光動作とを同時並行的に行なうことができ、いわゆる二重露光等に適する。

更に、上記実施形態では、本発明がステップ・アンド・リピート方式の投影露光装置に適用された場合を例示したが、本発明の適用範囲がこれに限定されるものではなく、本発明はいわゆるステップ・アンド・スキャン方式の投影露光装置は勿論、この他、例えば電子ビーム直接描画装置等の他の露光装置にも適用できるものである。

#### 産業上の利用可能性

以上説明したように、本発明の投影露光装置及び投影露光方法によれば、スループットを一層向上させることができる。本発明の投影露光装置及び投影露光方法によれば、スループットの向上及び基板ステージの小型・軽量化を図ることができるという従来にない優れた効果がある。本発明の投影露光装置及び投影露光方法によれば、スループットを一層向上させるとともに、両ステージ相互間の外乱の影響を防止することができる。

本発明の投影露光装置及び投影露光方法によれば、スループットを一層向上させるとともに、両ステージ同士の干渉を防止することができる。本発明の露光方法によれば、スループットを向上させることができるとともに、ベースライン量に無関係に基板ステージの大きさを定めることができる。本発明の露光装置によれば、一方の基板ステージ上の露光動作と他方のステージ上のアライメント動作とを並行処理することにより、スループットを向上させることができる。

本発明の投影露光装置及び投影露光方法によれば、スループットを一層向上させつつ、高精度なフォーカス、レベリング制御を行うことがで

きる。本発明の投影露光方法によれば、サンプルショット領域の配列に基づいてマスクとの位置合わせを行うE G Aを使う場合でも、スループットを一層向上させつつ、高精度なフォーカス、レベリング制御を行うことができる。本発明の投影露光装置によれば、感応基板の外周近傍のショット領域を露光する際に先読み計測できなかった内側のフォーカス情報を先読みデータとしてフォーカス制御に用いることにより、スループットを向上させつつ、高精度なフォーカス、レベリング制御を行うことができる。

本発明の走査露光方法によれば、スループットを一層向上させつつ、高精度なフォーカス、レベリング制御を行うことができる。従って、本発明の暴露装置、露光装置及び露光方法は、半導体素子や液晶表示素子をリソグラフィを用いて製造するのに極めて好適である。

## 請求の範囲

1. 感応基板上に区画された複数の領域をそれぞれ所定パターンで暴露する暴露装置において、

感応基板を保持して、感応基板上の区画領域の位置情報を計測する位置情報計測セクションと暴露セクションとの間を独立に移動する複数のステージを備え、各ステージが感応基板上の各区画領域のステージ内における相対位置を求めるための基準マークを有し、位置情報計測セクションで計測された該基準マークに対する各区画領域の相対位置を用いて暴露領域において感応基板の各区画領域の位置合わせが行われることを特徴とする暴露装置。

2. 上記位置情報計測セクション及び暴露セクションに存在するステージの位置をそれぞれ計測するための複数の計測システムを備え、該計測システムは、各セクションにおいてのみ独立にステージ位置を計測することを特徴とする請求項1に記載の暴露装置。

3. さらに、位置情報検出系を上記位置情報計測セクション及び暴露セクションにそれぞれ備え、該位置情報検出系により基準マークに対する感応基板の各区画領域の位置が計測または決定されることを特徴とする請求項1または2に記載の暴露装置。

4. さらに、位置情報計測セクションにおいて求められた感応基板の各区画領域の位置情報を記憶する記憶装置を備えることを特徴とする請求項1～3のいずれか一項に記載の暴露装置。

5. ステップ・アンド・スキャン型の投影露光装置である請求項4に記載の暴露装置。

6. マスクに形成されたパターンの投影光学系による像を感応基板上に投影することによって感応基板を露光する投影露光装置において、

感応基板を保持して2次元平面内を移動し、基準マークがその表面に形成された第1基板ステージと；

感応基板を保持して前記第1基板ステージと同一平面内を前記第1基板ステージとは独立に移動し、基準マークがその表面に形成された第2基板ステージと；

前記投影光学系とは隔離して設けられ、前記基板ステージ上の基準マーク又は前記基板ステージに保持された感応基板上のマークを検出する少なくとも1つのマーク検出系と；

前記第1基板ステージ及び第2基板ステージの内の一方のステージが前記マーク検出系によるマーク検出動作を行う間に、他方のステージが露光動作を行うように両ステージの動作を制御する制御装置とを有することを特徴とする投影露光装置。

7. 前記第1基板ステージ及び第2基板ステージとの間で感応基板の受け渡しを行う搬送システムをさらに有し、

前記制御装置は、前記一方の基板ステージが前記搬送システムとの間で感応基板の受け渡し及び前記マーク検出系によるマーク検出動作を行う間に、前記他方の基板ステージが前記投影光学系による露光動作を行うように両ステージの動作を制御することを特徴とする請求項6に記載の投影露光装置。



8. 前記マーク検出系は、所定方向に沿って前記投影光学系の両側にそれぞれ配置され；

前記制御装置は、前記第1基板ステージ上の基準マーク又は前記第1基板ステージに保持された感応基板上のマークを一方のマーク検出系で検出し、前記第2基板ステージ上又は前記第2基板ステージに保持された感応基板上のマークを他方のマーク検出系で検出することを特徴とする請求項7に記載の投影露光装置。

9. マスクに形成されたパターンの投影光学系による像を感応基板上に投影することにより感応基板を露光する投影露光方法であって、

感応基板を保持して2次元平面内をそれぞれ独立に移動可能な2つの基板ステージを用意し；

前記2つ基板ステージのうちの一方のステージで、感応基板の交換動作と前記基板ステージ上又は前記基板ステージに保持された感応基板上のマークの検出動作との少なくとも一方を行う間に、前記2つの基板ステージのうちの他方のステージで、感応基板に対する露光動作を実行することを特徴とする投影露光方法。

10. 前記2つの基板ステージのそれぞれの動作が終了した時点で、前記2つの基板ステージの動作を切換えることを特徴する請求項9に記載の投影露光方法。

11. マスクに形成されたパターンの投影光学系による像を感応基板上に投影することによって感応基板を露光する方法において、

感応基板を保持して各々同一の平面内を独立に移動可能な2つの基板ステージを用意し、

前記 2 つの基板ステージの内一方の基板ステージに保持された感応基板上に前記投影光学系を介して前記マスクのパターン像を露光し、

前記一方の基板ステージに保持された感応基板の露光中に、前記 2 つの基板ステージの内他方の基板ステージに保持された感応基板上の位置合わせマークと前記他方のステージ上の基準点との位置関係を計測し、

前記一方の基板ステージに保持された感応基板の露光終了後に、前記投影光学系の投影領域内の所定の基準点に対する前記他方の基板ステージ上の基準点の位置ずれ及び前記位置ずれが得られるときの前記他方の基板ステージの座標位置を検出し、

前記検出された位置関係、前記検出された位置ずれ及び前記検出された座標位置に基づいて前記他方の基板ステージの移動を制御して前記他方のステージに保持された感応基板と前記マスクのパターン像との位置合わせを行うことを特徴とする露光方法。

1 2. 投影光学系を介して感応基板上にパターンを転写することにより感応基板を露光する露光装置において、

感応基板を保持して 2 次元平面内を移動し、基準マークがその表面上に形成された第 1 基板ステージと；

感応基板を保持して前記第 1 基板ステージと同一平面内を前記第 1 基板ステージとは独立に移動し、基準マークがその表面上に形成された第 2 基板ステージと；

前記投影光学系とは隔離して設けられ、前記基板ステージ上の基準マーク又は該ステージに保持された感応基板上のマークを検出するためのマーク検出系と；

前記第 1 基板ステージ及び第 2 基板ステージの 2 次元位置をそれぞれ計測するための干渉計システムと；

前記 2 つの基板ステージのそれぞれを、該ステージ上に保持された感応基板に対して前記投影光学系を介して露光が行われる露光時のステージ移動範囲内の所定の第 1 位置と、前記マーク検出系によりステージ上又は該ステージに保持された感応基板上のマーク検出が行われる時のステージ移動範囲内の所定の第 2 位置との間で移動させる移動装置と；

前記第 1 基板ステージ及び第 2 基板ステージの内一方のステージに保持された感応基板が露光される間に、前記第 1 基板ステージ及び第 2 基板ステージの内他方のステージ上で前記マーク検出系によるマーク検出動作が行われるように、前記干渉計システムの計測値をモニタしつつ、前記 2 つのステージの動作を制御した後に、前記移動装置を制御して前記一方の基板ステージと他方の基板ステージの位置を入れ替える制御装置とを有する露光装置。

13. 前記干渉計システムは、前記投影光学系の投影中心で相互に垂直に交差する第 1 測長軸及び第 2 測長軸と、前記マーク検出系の検出中心で相互に垂直に交差する第 3 測長軸及び第 4 測長軸とを備え、

前記制御装置は、前記一方と他方のステージの位置を入れ替える際に、前記干渉計システムの測長軸をリセットすることを特徴とする請求項 12 に記載の露光装置。

14. 投影光学系を介して感応基板上にパターンを投影することにより感応基板を露光する露光装置において、

感応基板を保持して 2 次元平面内を移動し、基準マークがその表面に形成された第 1 基板ステージと；

感応基板を保持して前記第 1 基板ステージと同一平面内を前記第 1 基板ステージとは独立に移動し、基準マークがその表面に形成された第 2

基板ステージと；

前記投影光学系とは隔離して設けられ、前記基板ステージ上に形成された基準マーク又は該ステージに保持された感応基板上のアライメントマークを検出するためのマーク検出系と；

前記第 1 基板ステージ及び第 2 基板ステージの 2 次元位置をそれぞれ計測するための干渉計システムと；

前記 2 つの基板ステージのそれぞれを、ステージ上に保持された感応基板に対して前記投影光学系を介して露光が行われる露光時のステージ移動範囲内の所定の第 1 位置と、前記マーク検出系によりステージ上に形成された基準マーク又は該ステージに保持された感応基板上のマークの検出が行われる時のステージ移動範囲内の所定の第 2 位置と、基板ステージと外部の基板搬送機構との間で感応基板の受け渡しが行われる第 3 位置の 3 地点間で移動させる移動装置と；

第 1 基板ステージ及び第 2 基板ステージの内の一方のステージの位置が前記干渉計システムにより管理されつつ該一方のステージに保持された感応基板に前記投影光学系を介してパターンが露光される間に、前記第 1 基板ステージ及び第 2 基板ステージの内の他方のステージ上で感応基板の交換及び前記感応基板上的アライメントマークと前記他方のステージ上の基準マークとの位置関係を前記マーク検出系の検出結果と前記干渉計システムの計測値とに基づいて計測するアライメント動作が順次行われるように前記 2 つの基板ステージ及び前記移動装置を制御するとともに、前記 2 つのステージの動作がともに終了した後に、前記 2 つのステージ上で行われる動作が入れ替わるように、前記 2 つのステージと前記移動装置とを制御する制御装置とを有する露光装置。

15. パターンが形成されたマスクを更に有し、

前記マスクに形成されたパターンの投影光学系による像が前記第 1 基板ステージ及び第 2 基板ステージ上の感応基板に投影されることを特徴とする請求項 1 4 に記載の露光装置。

1 6 . 前記干渉計システムは、前記投影光学系の投影中心で相互に垂直に交差する第 1 測長軸及び第 2 測長軸と、前記マーク検出系の検出中心で相互に垂直に交差する第 3 測長軸及び第 4 測長軸とを備え、

前記制御装は、前記 2 つのステージのそれぞれについて、前記第 1 位置への移動の際に前記干渉計システムの第 1 及び第 2 測長軸をリセットし、前記第 2 位置へ移動の際に前記干渉計システムの第 3 及び第 4 測長軸をリセットすることを特徴とする請求項 1 5 に記載の露光装置。

1 7 . 前記マスクのパターンの投影光学系による像の投影中心と前記ステージ上の基準マークとの相対位置関係を前記マスクと前記投影光学系を介して検出するマーク位置検出器を更に有することを特徴とする請求項 1 6 に記載の露光装置。

1 8 . 前記各基板ステージが、ステージ本体と、この本体上に着脱自在に搭載され基板を保持する基板保持部材とを有し、該基板保持部材の側面には干渉計用反射面が設けられ且つ前記基板保持部材の上面には基準マークが形成され、

前記移動装置が、前記基板ステージの代わりに前記基板保持部材を前記各地点間で移動させることを特徴とする請求項 1 2 ～ 1 7 のいずれか一項に記載の露光装置。

1 9 . 前記移動装置は、ロボットアームによって構成されていることを

特徴とする請求項 12～18 のいずれか一項に記載の露光装置。

20. 前記投影光学系、前記マーク検出系には、それぞれ干渉計による測長の基準となる固定鏡が取り付けられていることを特徴とする請求項 12～19 のいずれか一項に記載の露光装置。

21. 前記第 1 基板ステージ及び第 2 基板ステージの他に、感応基板を保持して前記 2 つの基板ステージと同一平面内をこれらのステージとは独立に移動可能な少なくとも 1 つの別の基板ステージを更に有することを特徴とする請求項 12～20 のいずれか一項に記載の露光装置。

22. マスクのパターンの投影光学系による像を感応基板上に区画された複数のショット領域にそれぞれ投影することによって各ショット領域を露光する投影露光装置において、

感応基板を保持して 2 次元平面内を移動可能な第 1 基板ステージと；

感応基板を保持して前記第 1 基板ステージと同一平面内を前記第 1 基板ステージとは独立に移動可能な第 2 基板ステージと；

前記投影光学系とは隔離して設けられ、前記基板ステージに保持された感応基板の少なくとも一つのショット領域の位置情報を検出するための位置情報検出系と；

前記第 1 基板ステージ及び第 2 基板ステージの各々に設けられ、ステージ上に保持された感応基板の面位置を調整するための基板駆動系と；

前記第 1 基板ステージ及び第 2 基板ステージの内の一方向のステージで前記位置情報検出系を用いた位置検出動作が行われる間に、他方のステージで前記投影光学系を用いた露光動作が行われるように前記 2 つのステージを制御した後、前記一方のステージで前記投影光学系を用いた露光



動作が行われるように前記一方のステージを制御するとともに、前記一方のステージの位置情報検出中に得られた検出結果のうち上記ショット領域の面位置情報を用いて前記一方のステージの基板駆動系を制御して上記ショット領域の露光時の位置合わせを実行する制御装置とを有することを特徴とする投影露光装置。

23. 上記位置情報検出系は、前記基板ステージに保持された感応基板上のマークを計測する少なくとも1つのアライメント系と前記アライメント系を用いたマーク計測動作中の感応基板面の位置情報を検出するための第1検出系とを含むことを特徴とする請求項22に記載の投影露光装置。

24. さらに、前記投影光学系を用いて露光動作中の感応基板面の位置情報を検出するための第2検出系を備え、上記制御装置は、前記第1基板ステージ及び第2基板ステージの内の一方のステージで前記位置情報検出系による検出が行われる間に、他方のステージで前記投影光学系を用いた露光動作が行われるように前記2つのステージを制御した後、前記一方のステージで前記投影光学系を用いた露光動作が行われるように前記一方のステージを制御するとともに、前記一方のステージの位置情報検出中に得られた第1検出系の検出結果と前記一方のステージの露光動作中に得られる前記第2検出系の検出結果とに基づいて前記一方のステージの基板駆動系を制御して上記ショット領域の露光時の位置合わせを実行することを特徴とする請求項23に記載の投影露光装置。

25. 上記投影露光装置が、照明光で照明された照明領域に対してマスクを走査方向に移動させるのと同期して前記照明領域に共役な露光領域

に対して感応基板を前記走査方向に移動させることにより前記マスクのパターン像を前記感応基板上に露光する走査型の投影露光装置であり、前記制御装置は、前記第1基板ステージ及び第2基板ステージの内の一方のステージで前記位置情報検出系による検出が行われる間に、他方のステージで前記投影光学系を用いた露光動作が行われるように前記2つのステージを制御した後、前記一方のステージで前記投影光学系を用いた露光動作が行われるように前記一方のステージを制御する際に、前記一方のステージに保持された感応基板上の複数のショット領域の内前記露光領域に対して前記感応基板の外側から内側へ走査されるように設定された外周近傍のショット領域を露光するときには、前記一方のステージの位置情報検出中に得られた前記第1検出系の検出結果と前記一方のステージの露光動作中に得られる前記第2検出系の検出結果とに基づいてステージの基板駆動系を制御し、その他のショット領域を露光するときには前記第2検出系の検出結果だけを用いて前記一方のステージの基板駆動系を制御して上記ショット領域の露光時の位置合わせを実行することを特徴とする請求項24に記載の投影露光装置。

26. マスクのパターンの投影光学系による像を感応基板上の複数のショット領域にそれぞれ投影することによって各ショット領域を露光する投影露光方法において、

感応基板を保持して同一の2次元平面内を各々独立に移動可能な2つの基板ステージを用意し；

前記2つのステージの内の一方のステージに保持された感応基板の少なくとも一つのショット領域の位置情報を計測し；

前記一方のステージで位置情報の計測が行われている間に、前記2つのステージの内の他方のステージに保持された感応基板を前記マスクの

パターン像で露光し；

前記他方のステージの露光動作終了後、前記一方のステージに保持された感応基板を露光する際に前記検出されたショット領域の位置情報を用いて前記一方のステージに保持された感応基板の面位置を調整することを特徴とする投影露光方法。

27. 上記ショット領域の位置情報は、ショット領域のアライメント情報及びショット領域の面位置情報を含むことを特徴とする請求項26に記載の投影露光方法。

28. 上記ショット領域の面位置情報は感応基板の所定基準面に対する相対位置として計測されることを特徴とする請求項27に記載の投影露光方法。

29. マスクに形成されたパターンの投影光学系による像を感応基板上に投影することによって感応基板を露光する投影露光装置において、

感応基板を保持して2次元平面内を移動し、基準マークがその表面に形成された第1基板ステージと；

感応基板を保持して前記第1基板ステージと同一平面内を前記第1基板ステージとは独立に移動し、基準マークがその表面に形成された第2基板ステージと；

前記投影光学系とは隔離して設けられ、前記基板ステージ上の基準マーク又は前記基板ステージに保持された感応基板上のアライメントマークを検出する少なくとも1つのマーク検出系と；

前記投影光学系の投影中心と前記マーク検出系の検出中心とを通る第1軸の一方側から前記第1基板ステージの前記第1軸方向の位置を計測

するための第1測長軸と、前記第1軸方向の他方側から前記第2基板ステージの前記第1軸方向の位置を計測するための第2測長軸と、前記投影光学系の投影中心で前記第1軸と垂直に交差する第3測長軸と、前記マーク検出系の検出中心で前記第1軸と垂直に交差する第4測長軸とを備え、これらの測長軸により前記第1基板ステージ及び第2基板ステージの2次元位置をそれぞれ計測する干渉計システムとを有することを特徴とする投影露光装置。

30. さらに、第1基板ステージ及び第2基板ステージの内の一方のステージの位置を前記干渉計システムの第3測長軸の計測値を用いて管理しつつ該一方のステージ上の感応基板を露光している間に、他方のステージに保持された感応基板上のアライメントマークと他方のステージ上の基準マークとの位置関係を前記マーク検出系の検出結果と前記干渉計システムの第4測長軸の計測値とを用いて求め、上記一方のステージの感応基板の露光後に、第3測長軸を用いて他方のステージの位置を計測しながら他方のステージ上の基準マークと前記投影光学系の投影領域内の所定の基準点との相対位置関係が求められるように、第1及び第2ステージを制御する制御装置を備える請求項29に記載の投影露光装置。

31. 上記他方のステージ上の基準マークと前記投影光学系の投影領域内の所定の基準点との相対位置関係が求められる位置に他方のステージを移動したときに、第3測長軸の干渉計をリセットすることを特徴とする請求項30に記載の投影露光装置。

32. 前記投影光学系に関して前記マーク検出系の反対側に前記第1軸上に検出中心を有する別のマーク検出系を有し、

前記干渉計システムは、前記別のマーク検出系の検出中心で前記第 1 軸と垂直に交差する第 5 測長軸を備え、

前記制御装置は、前記第 1 基板ステージの位置を前記干渉計システムの前記第 3 測長軸の計測値を用いて管理しつつ該第 1 基板ステージに保持された感応基板を露光している間に、前記他方のステージに保持された感応基板上のアライメントマークと他方のステージ上の基準マークとの位置関係を前記マーク検出系の検出結果と前記干渉計システムの第 4 測長軸の計測値とを用いて求め、一方のステージの露光の後に、前記第 5 測長軸の計測値を用いて一方のステージの位置を計測しながら前記別のマーク検出系の検出領域内に一方の基板ステージ上の基準マークが位置するように一方のステージを移動するように、第 1 及び第 2 ステージを制御することを特徴とする請求項 30 に記載の投影露光装置。

33. 前記別のマーク検出系の検出領域内に一方の基板ステージ上の基準マークが位置するように一方のステージを移動したときに、第 5 測長軸の干渉計をリセットすることを特徴とする請求項 32 に記載の投影露光装置。

34. 前記第 1 基板ステージ及び前記第 2 基板ステージとの間で感応基板の受け渡しを行なう搬送システムをさらに有し、

前記制御装置は、前記別のマーク検出系の検出領域内に前記一方の基板ステージ上の基準マークを位置決めし、前記一方のステージは、その位置で前記搬送システムとの間で基板の受け渡しを行なうことを特徴とする請求項 32 に記載の投影露光装置。

35. 前記投影光学系の投影領域内の所定の基準点は前記マスクのパタ

ーン像の投影中心であり、

前記マスクのパターン像の投影中心と前記ステージ上の基準マークとの相対位置関係を前記マスクと前記投影光学系を介して検出するマーク位置検出器を更に有することを特徴とする請求項 30 に記載の投影露光装置。

36. 前記マーク検出系は、前記投影光学系を挟んで、前記第1軸方向の一方側と他方側とにそれぞれ配置されていることを特徴とする請求項 29 に記載の投影露光装置。

37. 前記第1基板ステージ及び第2基板ステージのそれぞれが前記投影光学系による露光動作と前記マーク検出系によるマーク検出動作とを行えるように、前記干渉計システムの計測結果に基づいて前記第1基板ステージ及び第2基板ステージの移動制御を行う制御装置をさらに有することを特徴とする請求項 29 に記載の投影露光装置。

38. 前記制御装置は、前記第1基板ステージ及び第2基板ステージのそれぞれに対して、前記マーク検出系によるマーク検出時と前記投影光学系による露光時とで前記干渉計システムの第3測長軸と第4測長軸とを切換えることを特徴とする請求項 37 に記載の投影露光装置。

39. マスクのパターンの投影光学系による像を感応基板上に投影することによって感応基板を露光する投影露光方法において、

感応基板を保持して各々同一の平面内を独立に移動可能な2つの基板ステージを用い、

第1干渉計により前記2つのステージの内の一方のステージの位置計



測を行いながら、該一方のステージ上の感応基板上を露光し、

前記一方のステージに保持された基板の露光中に、第2干渉計により他方のステージの位置計測を行いながら、該他方のステージに保持された基板上的アライメントマークと前記他方のステージ上の基準マークとの位置関係を計測し、

前記一方のステージ上の基板の露光終了後に、前記他方のステージの基準マークと前記投影光学系の投影領域内の所定の基準点との位置関係が求められる位置に他方のステージを移動し、

前記求められた他方のステージ上に保持された基板上的アライメントマークと前記他方のステージ上の基準マークとの位置関係と、他方のステージの基準マークと前記投影光学系の投影領域内の所定の基準点との位置関係とに基づき、第1干渉計を用いて他方のステージ上に保持された感応基板とマスクのパターン像との位置合わせを行うことを特徴とする投影露光方法。

40. マスクに形成されたパターンの投影光学系による像を感応基板上に投影することによって感応基板を露光する投影露光装置において、

感応基板を保持して2次元平面内を移動可能な第1基板ステージと；

感応基板を保持して前記第1基板ステージと同一平面内を前記第1基板ステージとは独立に移動可能な第2基板ステージと；

前記第1基板ステージ及び第2基板ステージと感応基板の受け渡しを行う搬送システムと；

前記第1基板ステージ及び第2基板ステージの内の一方のステージが前記搬送システムと感応基板の受け渡しを行う間に、他方のステージが露光動作を行うように両ステージの動作を制御する制御装置とを有することを特徴とする投影露光装置。

4 1 . 前記マスクを複数枚同時に搭載可能なマスクステージと；

前記複数枚のマスクのいずれかが露光位置に選択的に設定されるようにマスクステージを駆動する駆動系とを有することを特徴とする請求項 6、2 9 又は 4 0 に記載の投影露光装置。

4 2 . 前記マスクが所定方向に移動可能なマスクステージに搭載され、前記マスクステージと前記第 1 基板ステージ及び第 2 基板ステージの内のいずれか一方とを同期移動させつつ、前記マスクパターンを前記感応基板上に投影露光するステージ制御装置をさらに有することを特徴とする請求項 6、2 9、4 0 又は 4 1 のいずれか一項に記載の投影露光装置。

4 3 . マスクに形成されたパターンの投影光学系による像を感応基板上に投影することによって感応基板を露光する投影露光装置において、

感応基板を保持して 2 次元平面内を移動可能な第 1 基板ステージと；

感応基板を保持して前記第 1 基板ステージと同一平面内を前記第 1 基板ステージとは独立に移動可能な第 2 基板ステージと；

前記第 1 基板ステージ及び前記第 2 基板ステージの 2 次元位置をそれぞれ計測する干渉計システムと；

前記第 1 基板ステージと第 2 基板ステージとが互いに干渉する場合の前記干渉計システムにおける干渉条件が記憶された記憶装置と；

前記記憶装置に記憶された干渉条件に基づいて前記干渉計システムの計測値をモニタしつつ前記両ステージを干渉させないように移動制御する制御装置と；

を有することを特徴とする投影露光装置。

4 4 . 前記投影光学系とは隔離して設けられ、前記基板ステージ上又は前記基板ステージに保持された感応基板上のマークを検出するアライメント系と；

前記第 1 基板ステージ及び前記第 2 基板ステージとの間で感応基板の受け渡しを行う搬送システムとをさらに有し、

前記制御装置は、前記干渉条件に基づいて前記干渉計システムの計測値をモニタしつつ、前記一方の基板ステージが前記搬送システムとの間で感応基板の受け渡し動作及び前記アライメント系によるマーク検出動作のうち少なくとも一方の動作を行っている間に、前記他方の基板ステージが前記投影光学系により露光動作が行われるように前記 2 つの基板ステージの動作を制御する場合に、両ステージ同士が干渉する位置に来た場合、前記両ステージにおいて動作終了までの時間が長くなる方のステージを両ステージが干渉しない位置関係になるまで優先的に移動させ、その間動作終了までの時間が短い方のステージを待機させるように制御することを特徴とする請求項 4 3 に記載の投影露光装置。

4 5 . マスクに形成されたパターンの投影光学系による像を感応基板上に投影することによって感応基板を露光する投影露光装置において、

感応基板を保持して 2 次元平面内を移動し、基準マークがその表面上に形成された第 1 基板ステージと；

感応基板を保持して前記第 1 基板ステージと同一平面内を前記第 1 基板ステージとは独立に移動し、基準マークがその表面上に形成された第 2 基板ステージと；

前記投影光学系とは隔離して設けられ、前記基板ステージ上の基準マーク又は前記基板ステージに保持された感応基板上のマークを検出するアライメント系と；

前記第 1 基板ステージ及び前記第 2 基板ステージのうちの一方のステージ上の感応基板に対し前記アライメント系によるマーク検出動作を行うのに並行して、他方のステージ上の感応基板に対し露光を行う際に、前記一方のステージにおけるマーク検出動作のうちで前記他方のステージに影響を与える動作と前記他方のステージにおける露光動作のうちで前記一方のステージに影響を与える動作とを同期して行うように 2 つのステージを制御するとともに、前記第 1 基板ステージ及び前記第 2 基板ステージの各々の動作のうちで互いに影響を与えない動作同士を同期して行うように前記 2 つの基板ステージの動作を制御する制御装置とを有することを特徴とする投影露光装置。

46. 前記制御装置は、前記他方の基板ステージに保持された感応基板に対する前記マスクのパターン像の投影露光中に、前記一方のステージ上の基準マーク又は前記一方のステージ上に保持された感応基板のマークの計測を行うために前記一方のステージを静止させることを特徴とする請求項 45 に記載の投影露光装置。

47. 前記制御装置は、前記他方の基板ステージを次の露光のために移動するのに同期して、前記一方の基板ステージを次のマーク検出のために移動することを特徴とする請求項 45 に記載の投影露光装置。

48. 前記マスクを搭載して所定方向に移動可能なマスクステージ及び前記マスクステージと前記第 1 基板ステージ又は前記第 2 基板ステージとを前記投影光学系に対して同期走査する走査システムをさらに有し、  
前記制御装置は、前記他方の基板ステージが前記マスクステージと同期して等速移動中に、前記一方のステージ上の基準マーク又は前記一方

のステージ上に保持された感応基板のマークの計測を行うために前記一方のステージを静止させることを特徴とする請求項 4 5 に記載の投影露光装置。

49. 前記第 1 基板ステージ及び第 2 基板ステージの各々の間で感応基板の受け渡しを行う搬送システムをさらに有し、

前記制御装置は、前記一方の基板ステージが前記搬送システムとの間で感応基板の受け渡し動作及び前記マーク検出動作の少なくとも一方を行うのに並行して、前記他方の基板ステージに保持された感応基板に対し露光動作を行う際に、前記一方の基板ステージの受け渡し動作及び前記マーク検出動作のうちで前記他方のステージに影響を与える動作と、前記他方のステージ側の露光動作のうちで前記一方のステージに影響を与える動作とを同期して行うように前記 2 つの基板ステージの動作を制御するとともに、前記第 1 基板ステージ及び前記第 2 基板ステージの各々の動作のうちで互いに影響を与えない動作同士を同期して行うように、前記 2 つの基板ステージの動作を制御することを特徴とする請求項 4 5 に記載の投影露光装置。

50. 前記アライメント系は、所定方向に沿って前記投影光学系の両側にそれぞれ配置され；

前記制御装置は、前記第 1 基板ステージ及び前記第 2 基板ステージの両方の動作が終了した時点で、両ステージの動作を切り換えることを特徴とする請求項 4 5 又は 4 9 に記載の投影露光装置。

51. マスクのパターンの投影光学系による像を感応基板上に投影することによって感応基板を露光する投影露光方法において、

感応基板を保持して2次元平面内を各々独立に移動し、その表面にそれぞれ基準マークが形成された2つの基板ステージを用意し、

前記一方のステージに保持された感応基板に前記マスクのパターン像の投影中に、前記他方のステージを静止させて前記他方のステージ上の基準マーク又は前記他方のステージ上に保持された感応基板上のマークを検出することを特徴とする投影露光方法。

52. マスクのパターンの投影光学系による像を感応基板上に投影することによって感応基板を露光する投影露光方法において、

感応基板を保持して同一の2次元平面内を各々独立に移動可能な2つの基板ステージを用意し、

前記2つの基板ステージのうちの一方のステージに保持された感応基板上の複数ヶ所に前記マスクのパターン像を順次投影露光するのに並行して、他方のステージ上に保持された感応基板上の複数のマークを順次検出する際に、前記2つの基板ステージが干渉しないように前記他方のステージに保持された感応基板上のマークの検出順序を決定することを特徴とする投影露光方法。

53. 照明光で照明された照明領域に対してマスクを走査方向に移動させるのと同期して前記照明領域に共役な露光領域に対して感応基板を前記走査方向に移動させることにより前記マスクのパターン像で前記感応基板を露光する走査型の投影露光装置において、

感応基板を保持して2次元平面内を移動可能な基板ステージと；

前記露光領域に対して前記走査方向の一方側と他方側に前記走査方向に直交する非走査方向の幅が前記露光領域より広い検出領域をそれぞれ有し、該各検出領域内に前記非走査方向に沿って設定された複数の検出



点の少なくとも１つで前記感応基板面の所定基準面に対する相対位置を検出する位置検出系と；

前記基板ステージに設けられ、ステージ上に保持された感応基板の面位置を調整するための基板駆動系と；

前記基板ステージ上に保持された感応基板を露光する際に、前記位置検出系の検出結果に基づいて前記基板駆動系を制御する制御装置とを有する投影露光装置。

５４．前記制御装置は、前記位置検出系の検出結果の内前記感応基板の走査方向に向かって前記露光領域の手前に設定された検出領域内の複数の検出点の少なくとも１つの検出結果に基づいて前記基板駆動系を制御することを特徴とする請求項５３に記載の投影露光装置。

５５．前記制御装置は、前記感応基板の外周近傍のショット領域を前記感応基板の外側から内側へ向かって走査露光する際に、前記複数の検出点の内少なくとも１つが前記感応基板上の有効領域内にかかった時点から、前記感応基板上にかかる検出点の検出結果に基づいて前記感応基板の面位置調整のため前記基板駆動系の制御を開始することを特徴とする請求項５３に記載の投影露光装置。

５６．前記制御装置は、前記感応基板の外周近傍のショット領域を走査露光する際に、当該ショット領域にかかる検出点が１点である場合には所定の固定値に基づいて前記基板駆動系を介して前記感応基板の傾きを調整することを特徴とする請求項５３に記載の投影露光装置。

５７．前記制御装置は、前記感応基板の外周近傍のショット領域を走査

露光する際に、当該ショット領域にかかる検出点が1点である場合には当該ショット領域に隣接するショット領域上にかかる他の検出点の検出結果と前記1点の検出結果とに基づいて前記基板駆動系を介して前記感応基板の傾きを調整することを特徴とする請求項53に記載の投影露光装置。

58. 前記制御装置は、前記感応基板上の複数のショット領域毎に、前記複数の検出点の内のいずれの検出点の検出結果を用いるかを予め決定し、前記感応基板上のあるショット領域を走査露光する際には、当該ショット領域に対して決定された検出点の検出結果のみを用いて前記基板駆動系を介して前記感応基板の面位置を調整することを特徴とする請求項54に記載の投影露光装置。

59. 前記感応基板上の有効領域は、前記感応基板上の全面または前記感応基板の周縁部に定められた禁止帯の内側であることを特徴とする請求項55に記載の投影露光装置。

60. 前記制御装置は、前記感応基板の外周位置情報、前記位置検出系の各検出点の位置情報、及び露光対象のショット領域の位置情報に基づいて、前記位置検出系の検出点のいずれが前記感応基板上の有効領域にかかっているか否かを判断することを特徴とする請求項55に記載の投影露光装置。

61. 前記制御装置は、前記位置検出系の複数の検出点の検出結果をそれぞれ所定の許容値と比較することにより、前記位置検出系の検出点のいずれが前記感応基板上の有効領域にかかっているか否かを判断するこ

とを特徴とする請求項 5 5 に記載の投影露光装置。

6 2. 前記制御装置は、前記感応基板の外周近傍のショット領域を走査露光する際に、当該ショット領域にかかる検出点が複数になった時点から、当該ショット領域にかかる検出点の検出結果だけに基づく前記感応基板の傾き調整を前記基板駆動系を介して開始することを特徴とする請求項 5 6 又は 5 7 に記載の投影露光装置。

6 3. 前記制御装置は、前記感応基板の外周位置情報、前記位置検出系の各検出点の位置情報、及び露光対象のショット領域の位置情報に基づいて、前記位置検出系の検出点のいずれが当該ショット領域にかかっているか否かを判断することを特徴とする請求項 5 7 又は 5 8 に記載の投影露光装置。

6 4. 前記制御装置は、前記感応基板の外周近傍のショット領域を走査露光する際に、当該ショット領域にかかる検出点が 1 点である場合には前記 1 点の検出点とこれに隣接する少なくとも 1 点の検出点とを含む所定数の検出点の検出結果に基づいて前記基板駆動系を介して前記感応基板の傾き調整を開始し、その後前記傾き調整に使用する検出点を順次当該ショット領域内部側にシフトすることを特徴とする請求項 5 8 に記載の投影露光装置。

6 5. 照明光で照明された照明領域に対してマスクを走査方向に移動させるのと同期して前記照明領域に共役な露光領域に対して感応基板を前記走査方向に移動させることにより前記マスクのパターン像で前記感応基板を露光する走査露光方法において、

該感応基板の走査露光の際に、前記露光領域に対して前記走査方向の一方側と他方側にそれぞれ位置する前記走査方向に直交する非走査方向の幅が前記露光領域より広い検出領域内に前記非走査方向に沿って複数のスリット像が配置されるように、所定角度傾斜した方向から前記感応基板表面にスリット像を投影し；

前記感応基板からの前記各スリット像の反射光束を受光し；

その光電変換信号に基づいて前記スリット像が投影される各検出点における前記感応基板面の所定の基準面からの相対位置をそれぞれ算出し；

この算出結果に基づいて前記露光領域内における前記感応基板の面位置を調整することを特徴とする走査露光方法。

66. 照明光で照明された照明領域に対してマスクを走査方向に移動させるのと同期して前記照明領域に共役な露光領域に対して感応基板を前記走査方向に移動させることにより、前記感応基板上の複数のショット領域の各々を投影光学系による前記マスクのパターンの像で露光する投影露光方法において、

前記感応基板上の複数のショット領域の内前記露光領域に対して前記感応基板の外側から内側へ走査されるように設定された外周近傍のショット領域を含むように、前記複数のショット領域の内の幾つかをサンプルショット領域として選択し；

前記幾つかのサンプルショット領域の座標位置をそれぞれ計測し；

前記幾つかのサンプルショット領域の座標位置を計測する際に前記幾つかのサンプルショット領域毎に前記感応基板の所定基準面に対する相対位置を検出し；

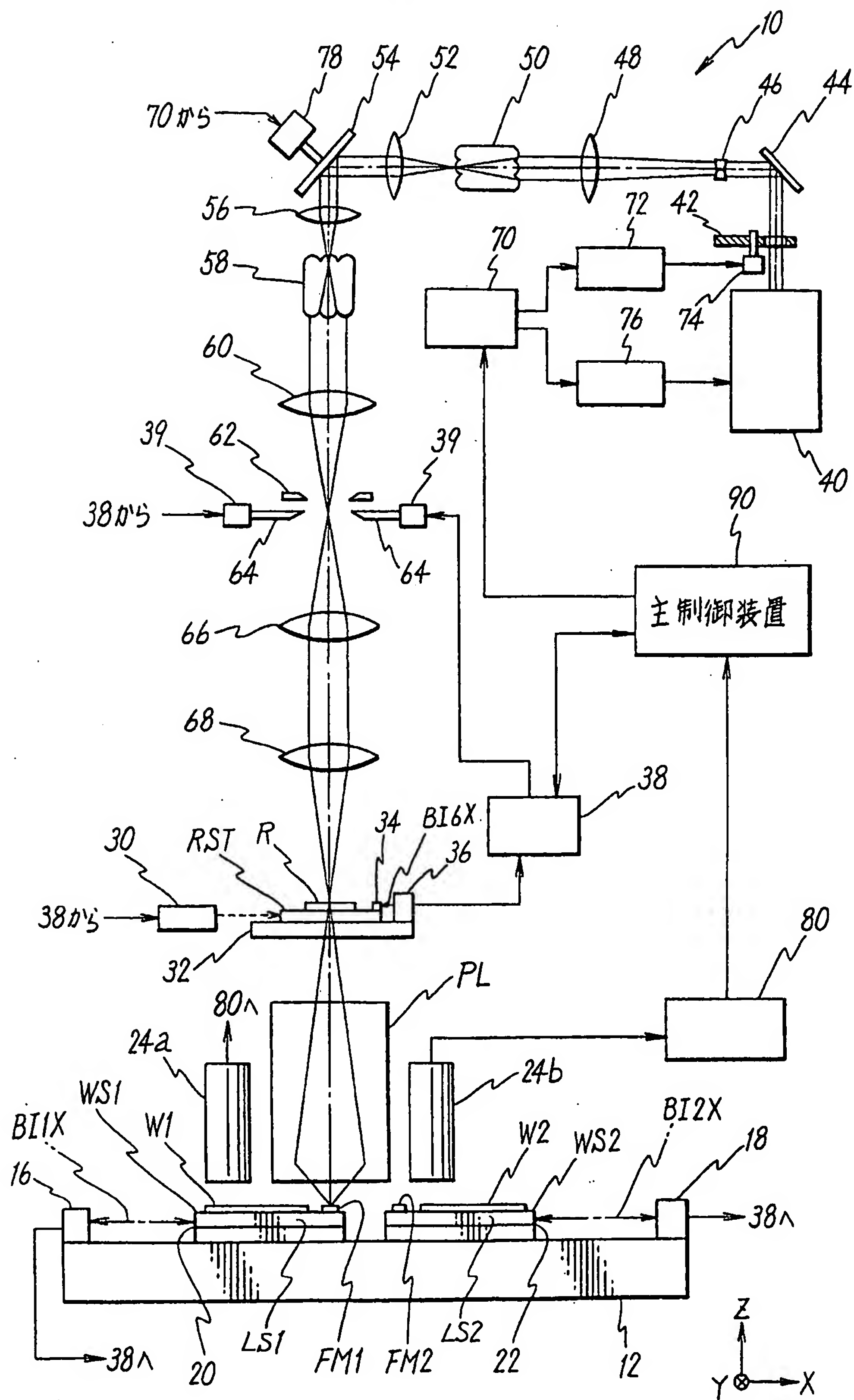
前記計測されたサンプルショット領域の座標位置に基づいて前記感応基板上の複数のショット領域の配列を決定し；

前記露光領域に対して前記感応基板の外側から内側へ走査されるように設定された外周近傍のショット領域を各々露光するときに、前記決定されたショット領域の配列に基づいて前記マスクのパターン像との位置合わせを行うとともに、前記座標位置の計測の際に検出された相対位置に基づいて前記感応基板の面位置を調整する投影露光方法。

67. 前記サンプルショット領域の内前記露光領域に対して前記感応基板の外側から内側へ走査されるように設定された外周近傍のショット領域の座標位置を計測する際に、露光時と同じ方向に前記感応基板を移動しながら前記感応基板の所定基準面に対する相対位置を検出することを特徴とする請求項66に記載の投影露光方法。

1/37

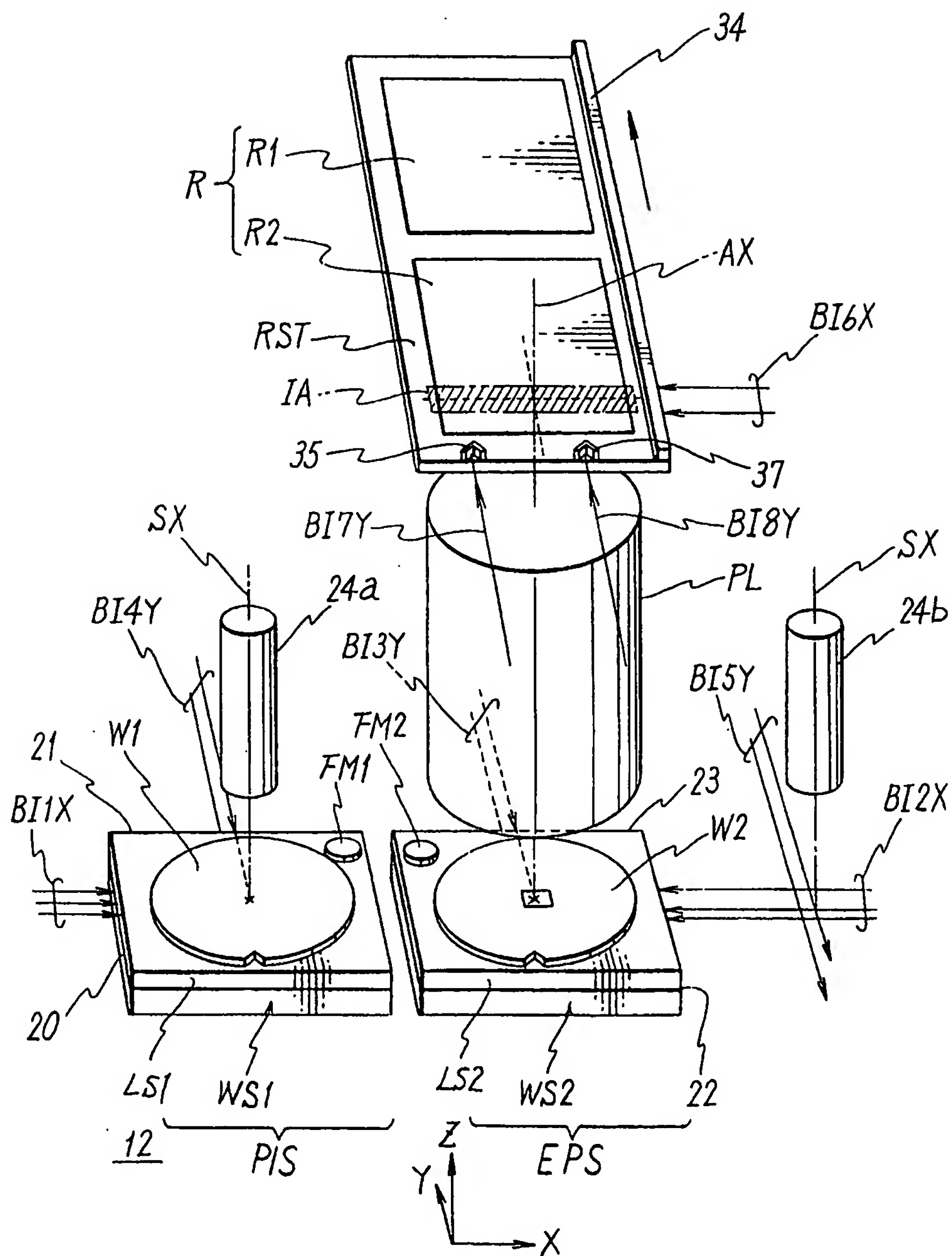
Fig. 1





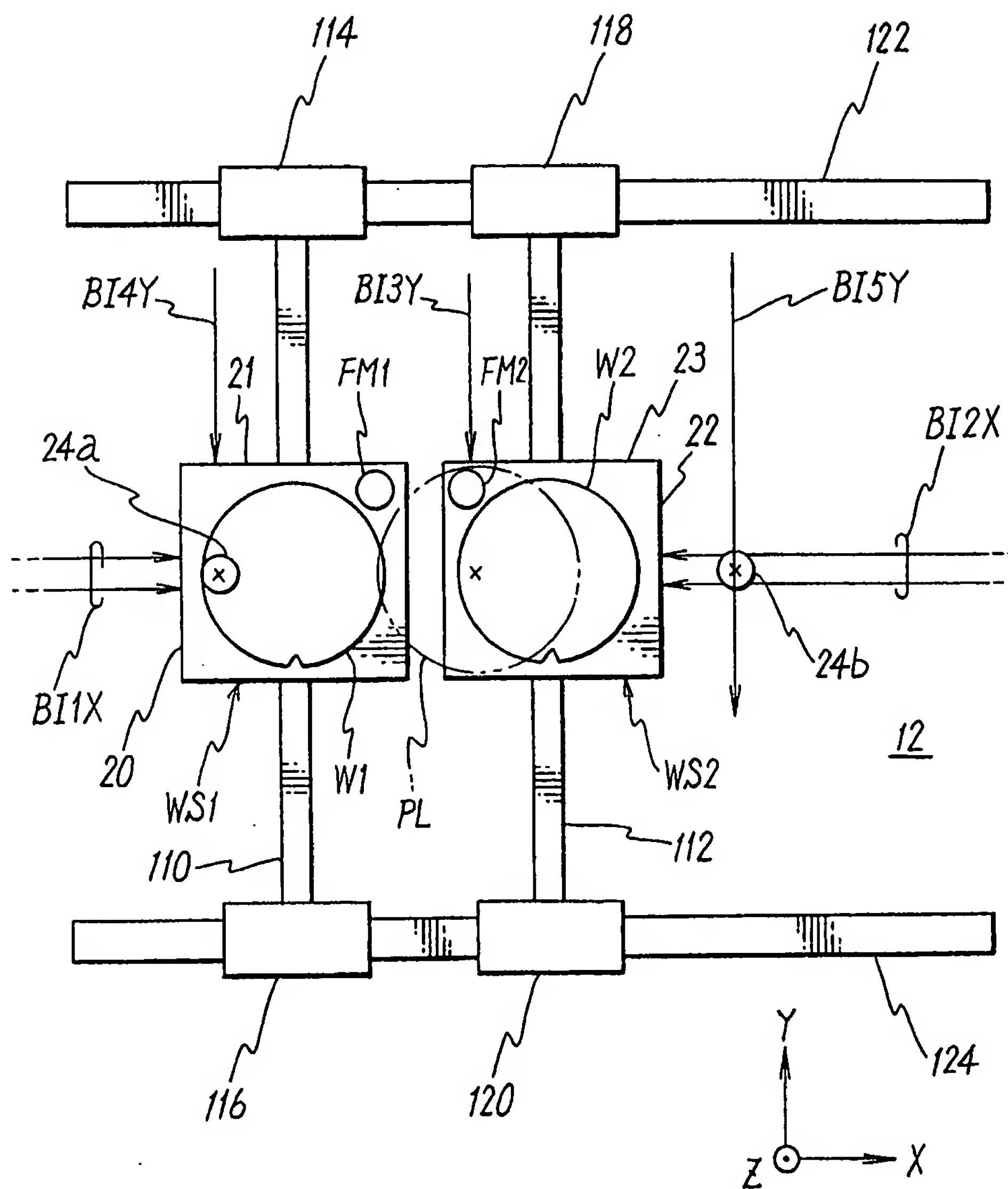
2/37

Fig. 2



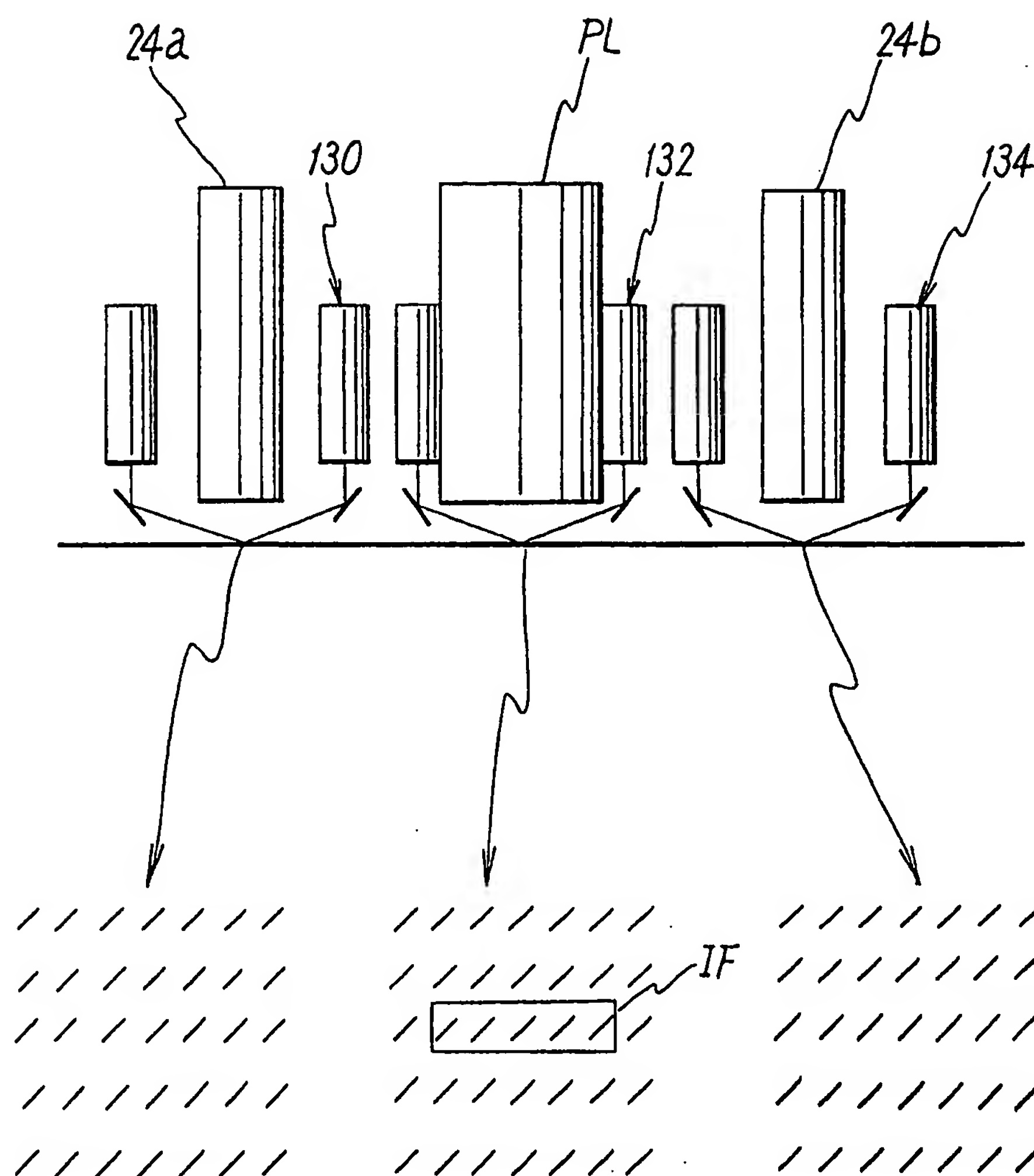
3/37

Fig. 3



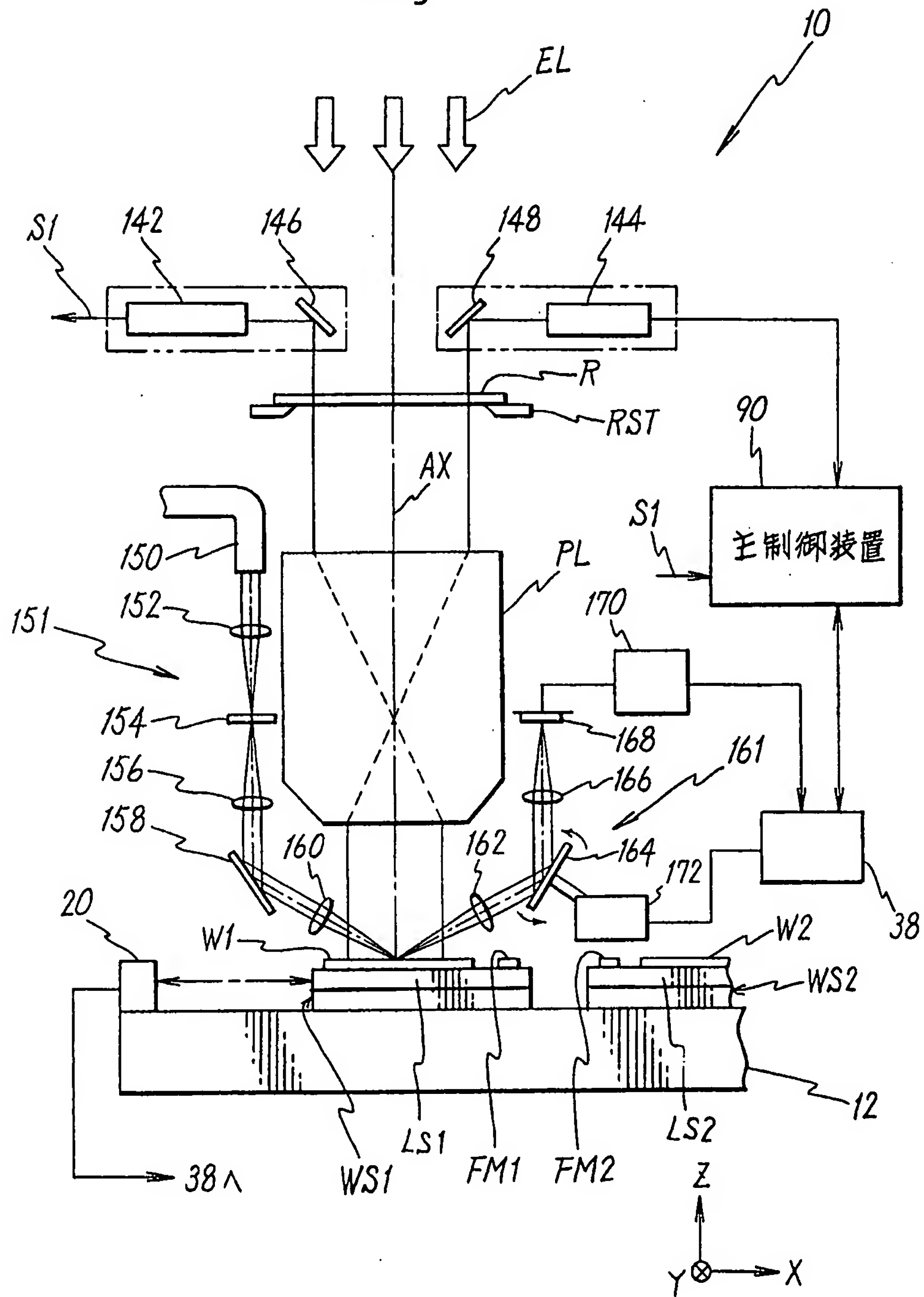
4/37

Fig. 4



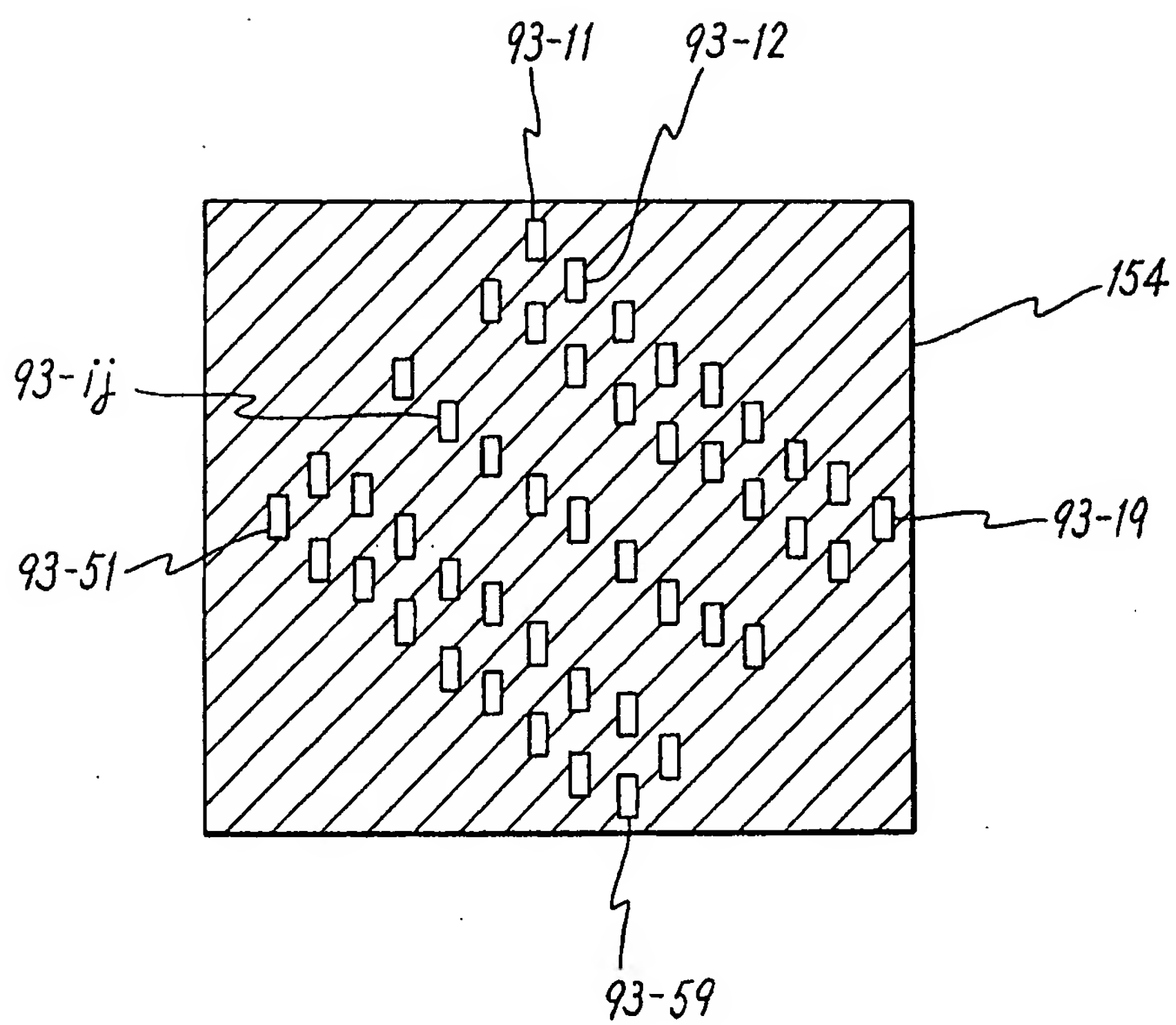
5/37

Fig. 5



6/37

Fig. 6



7/37

Fig. 7

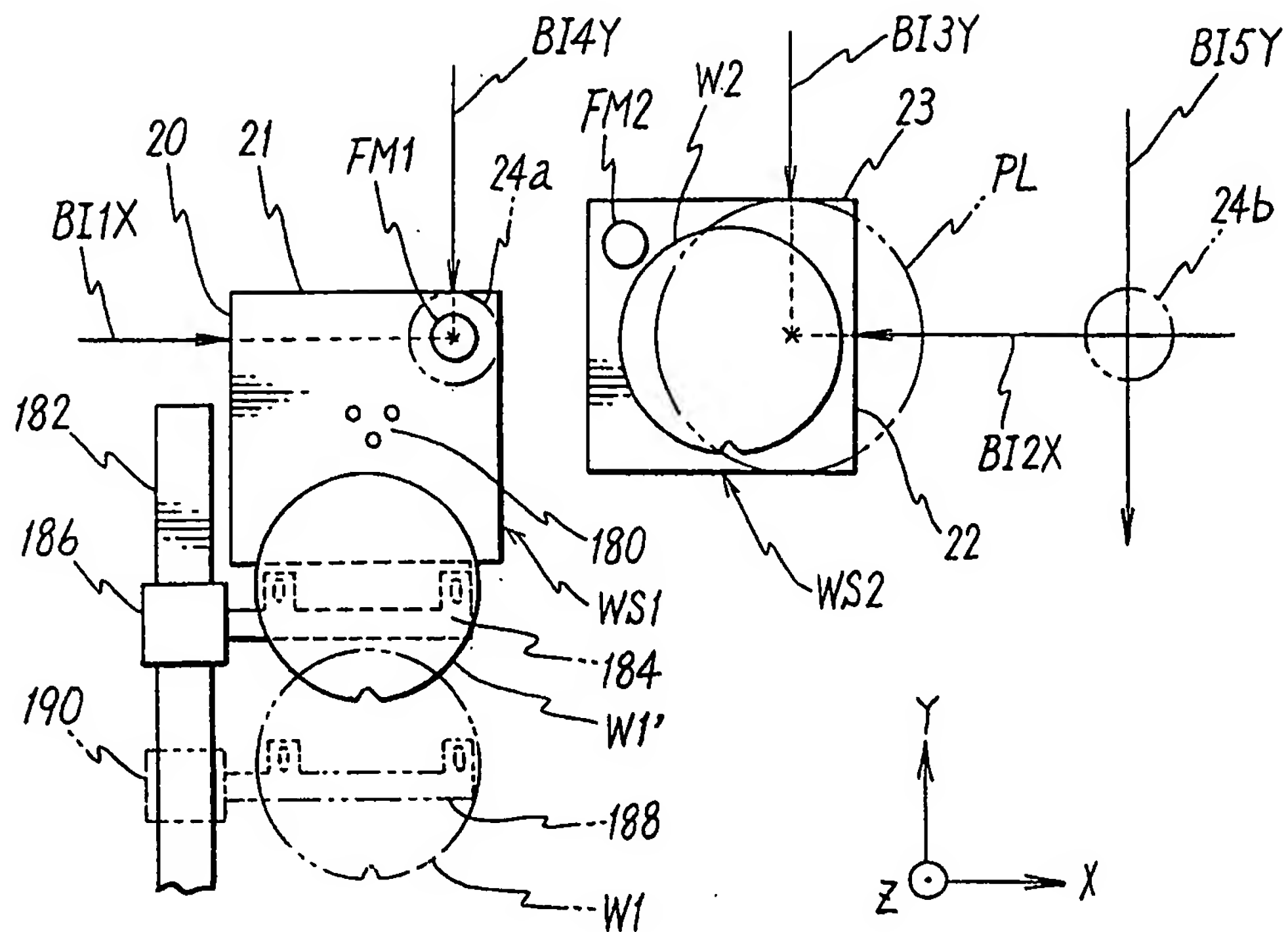
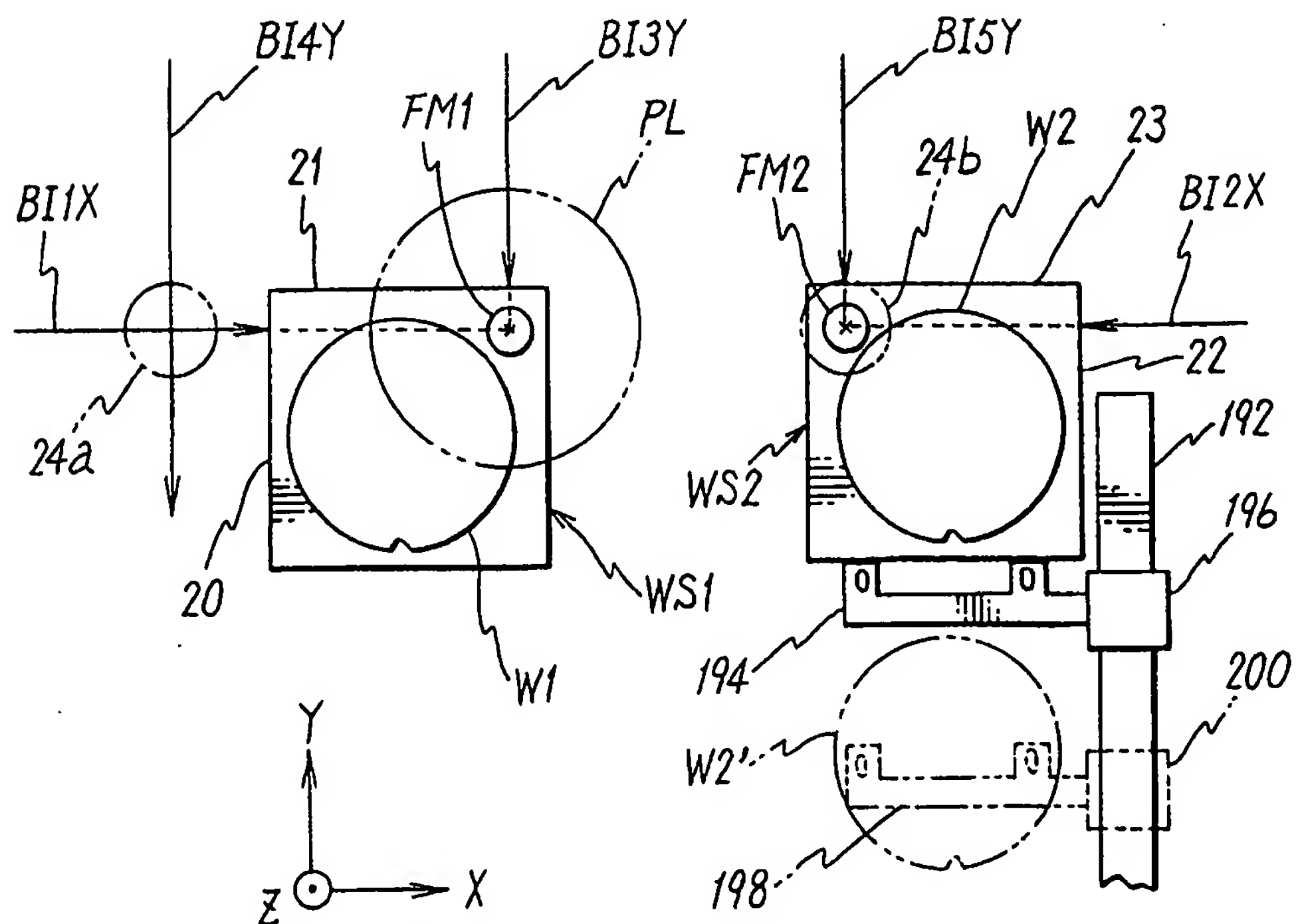


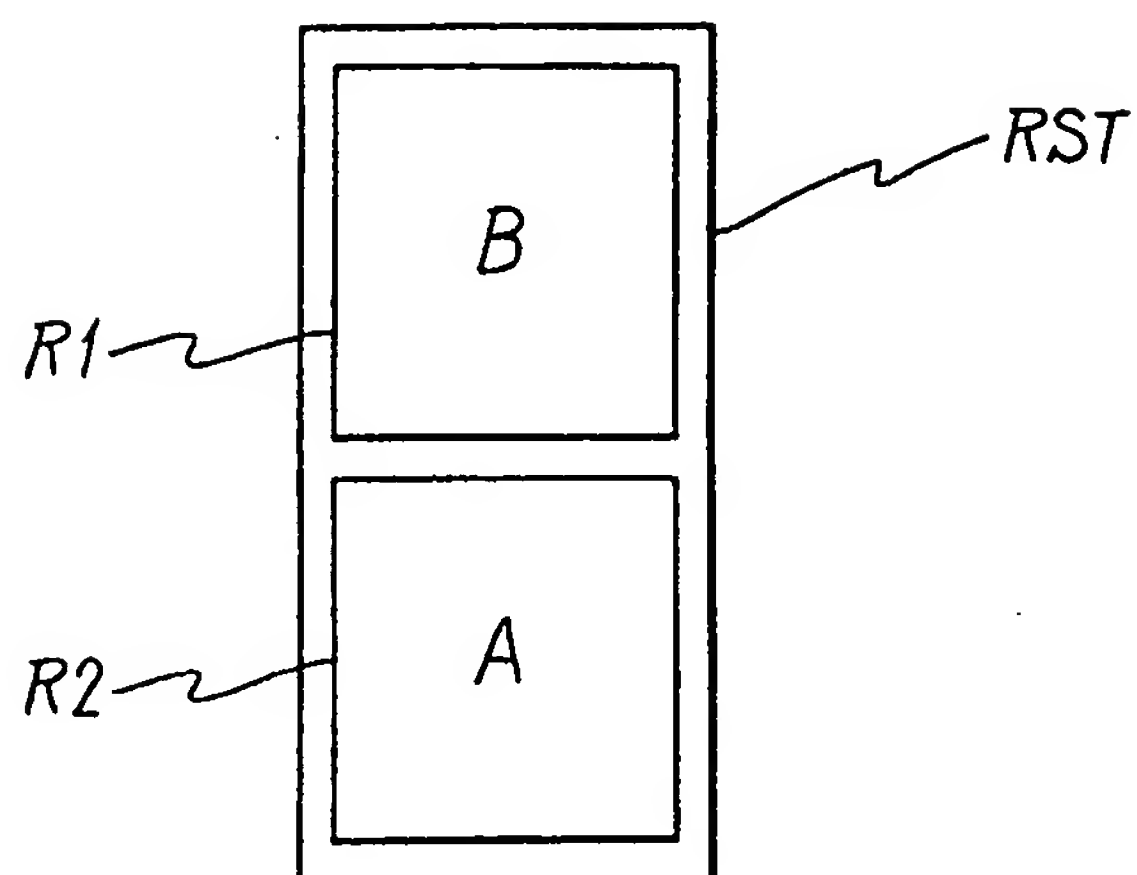
Fig. 8





8/37

Fig. 9



9/37

Fig. 10A

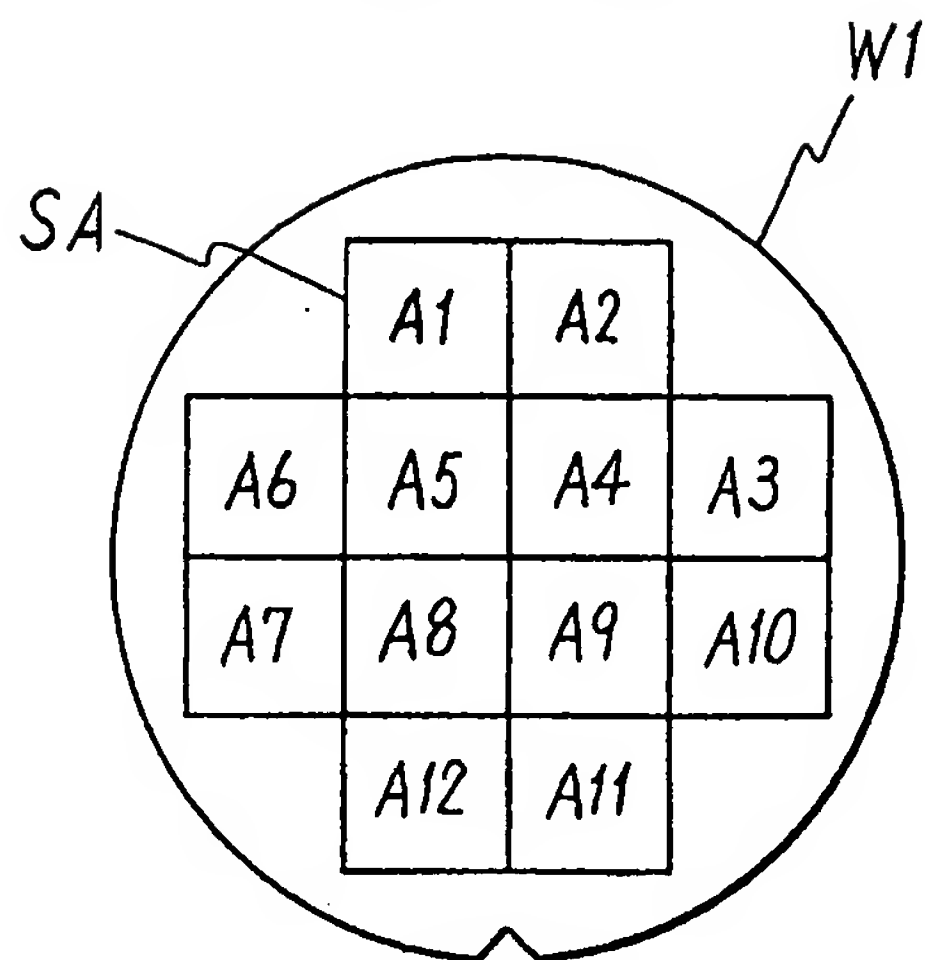
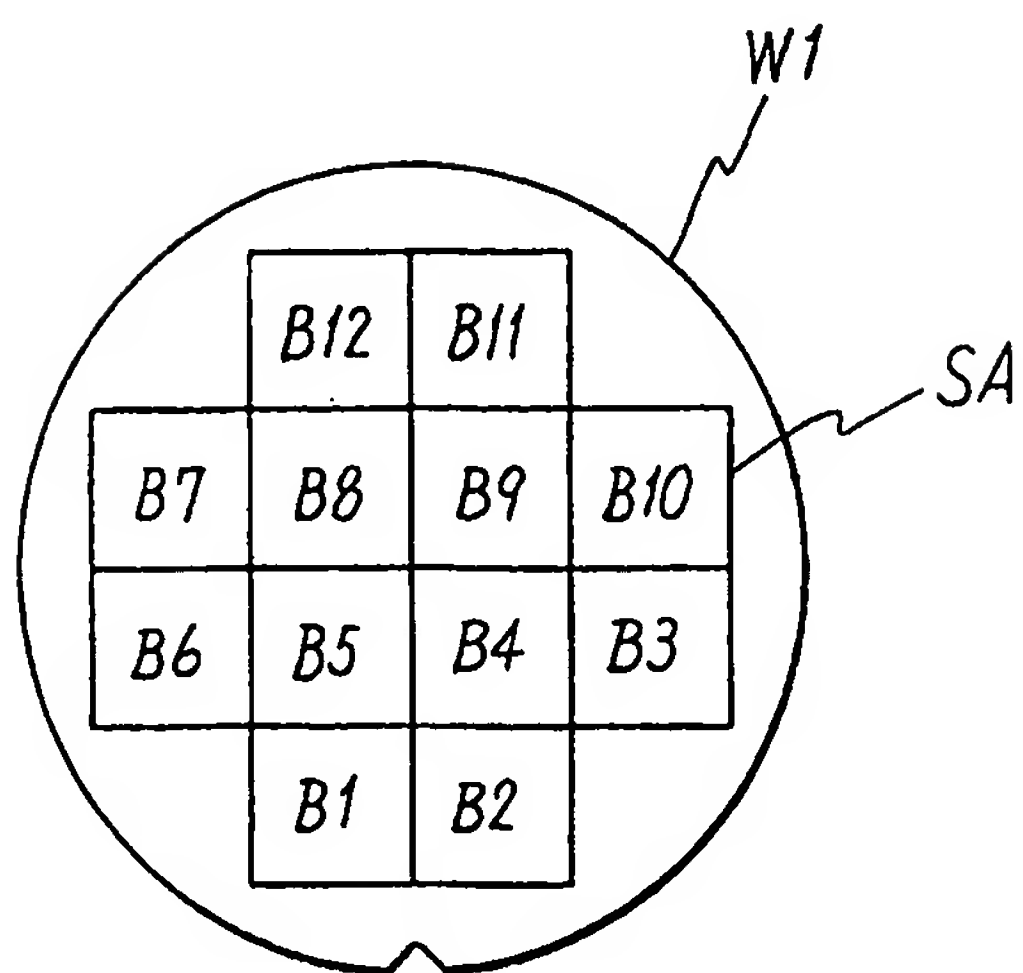


Fig. 10B



10/37

Fig. 11

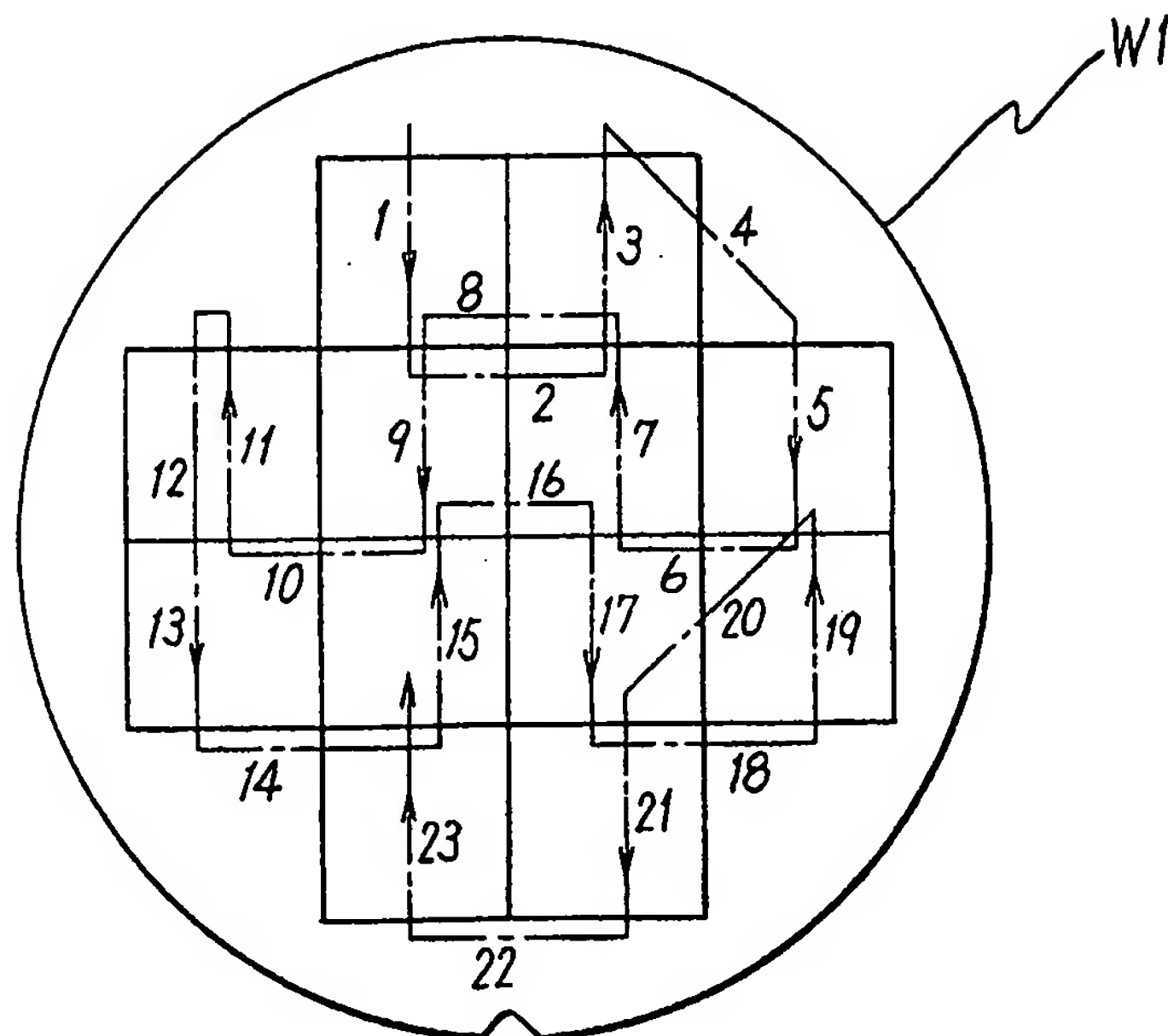
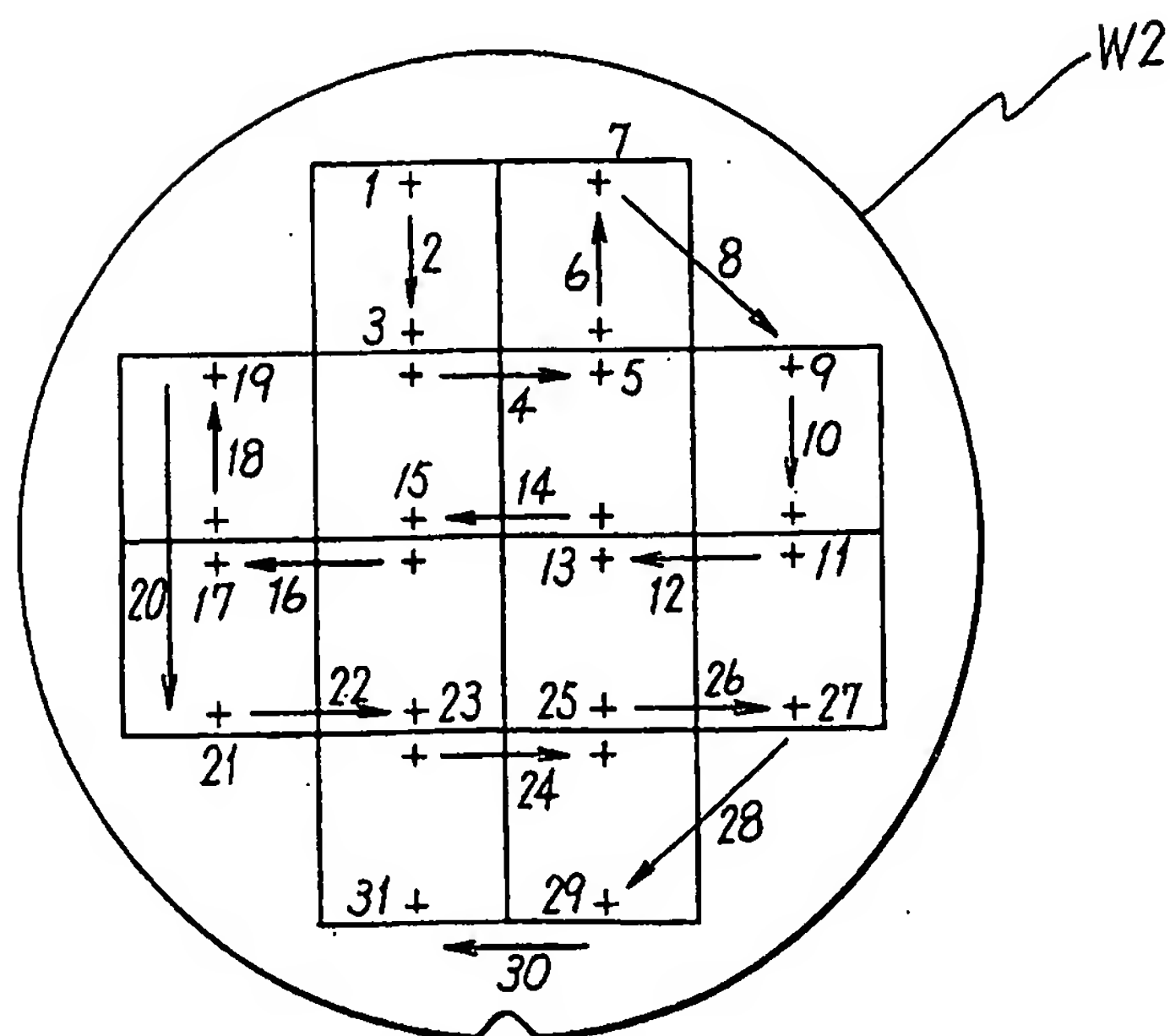
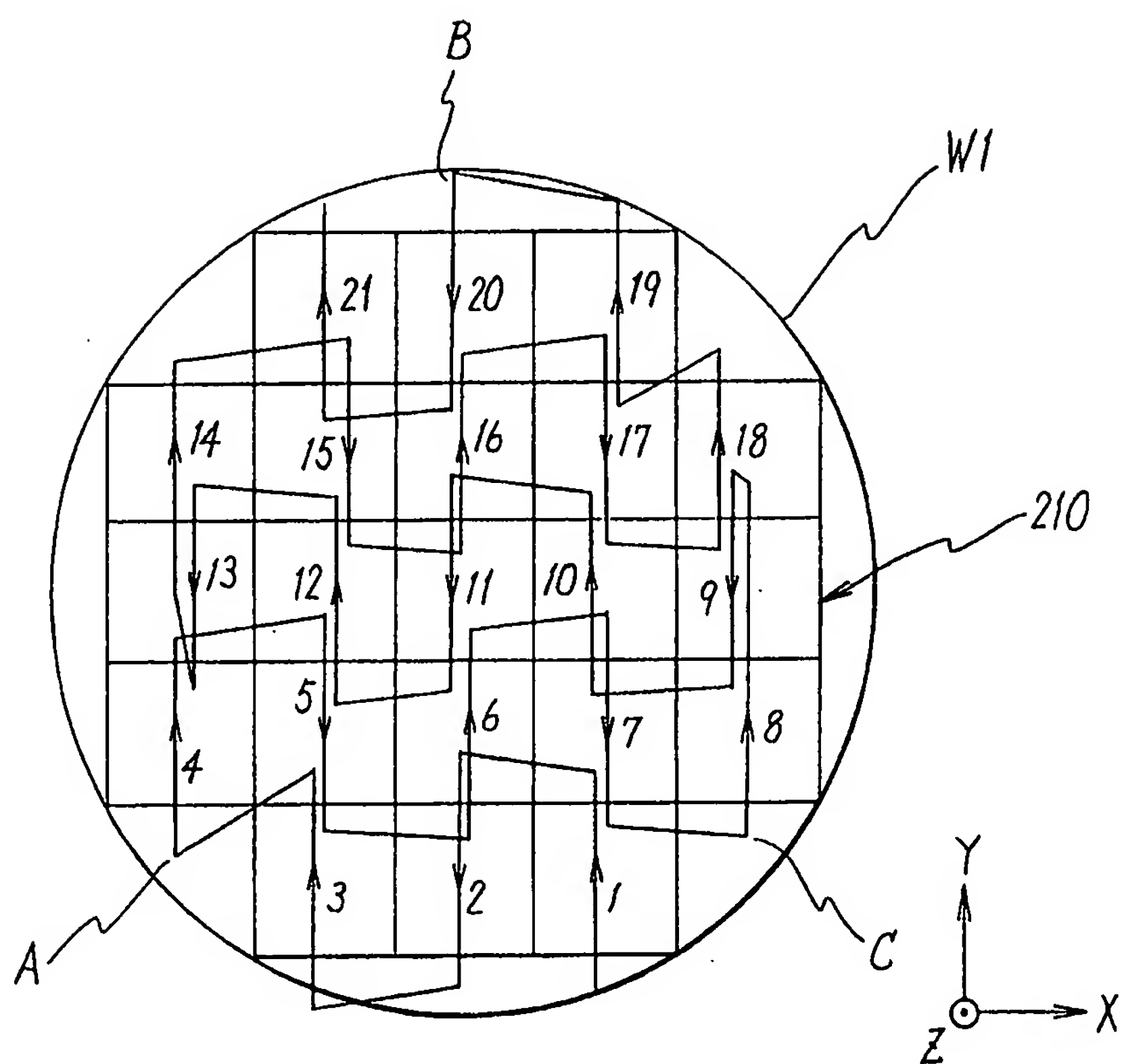


Fig. 12



11/37

Fig. 13



12/37

Fig. 14A

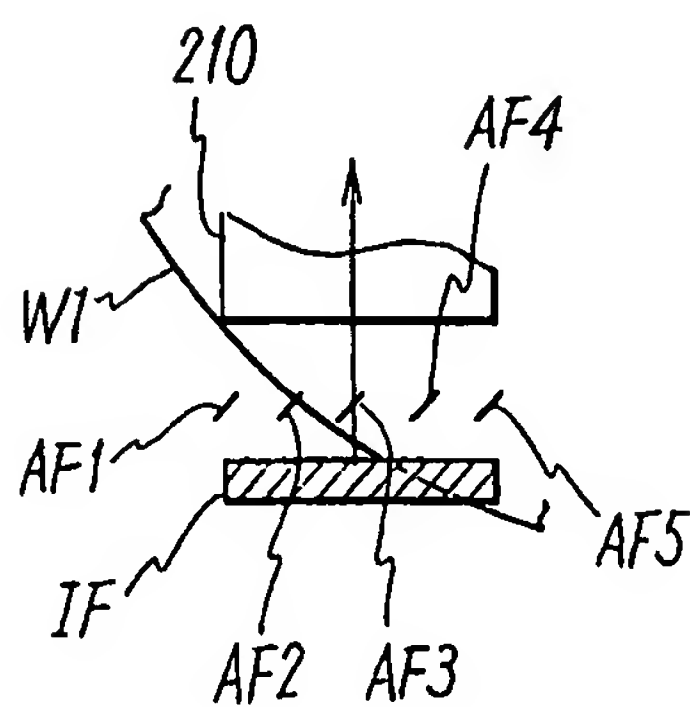


Fig. 14B

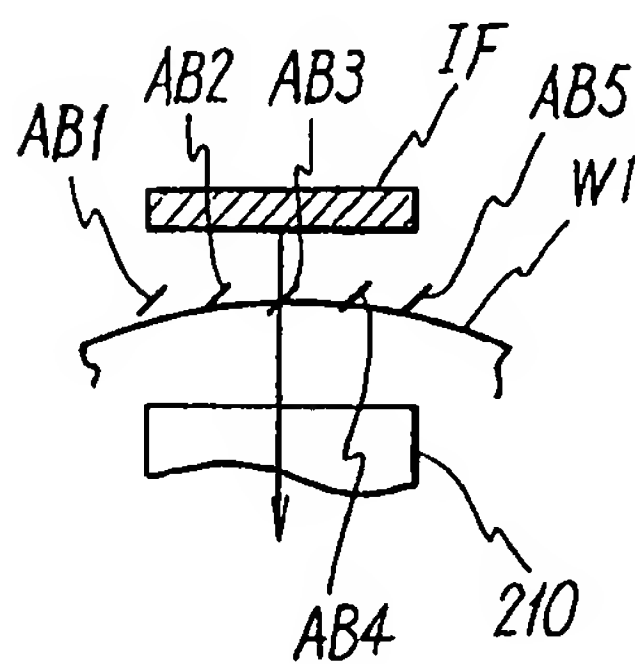
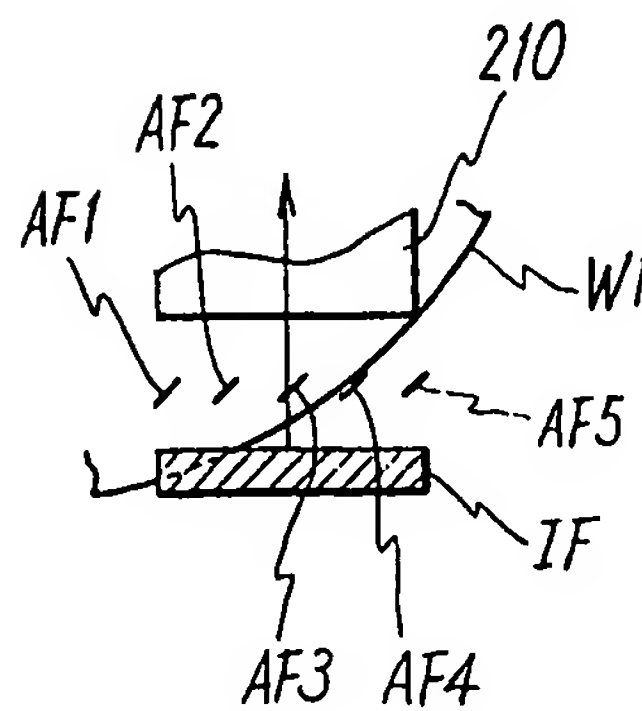


Fig. 14C



13/37

Fig. 15

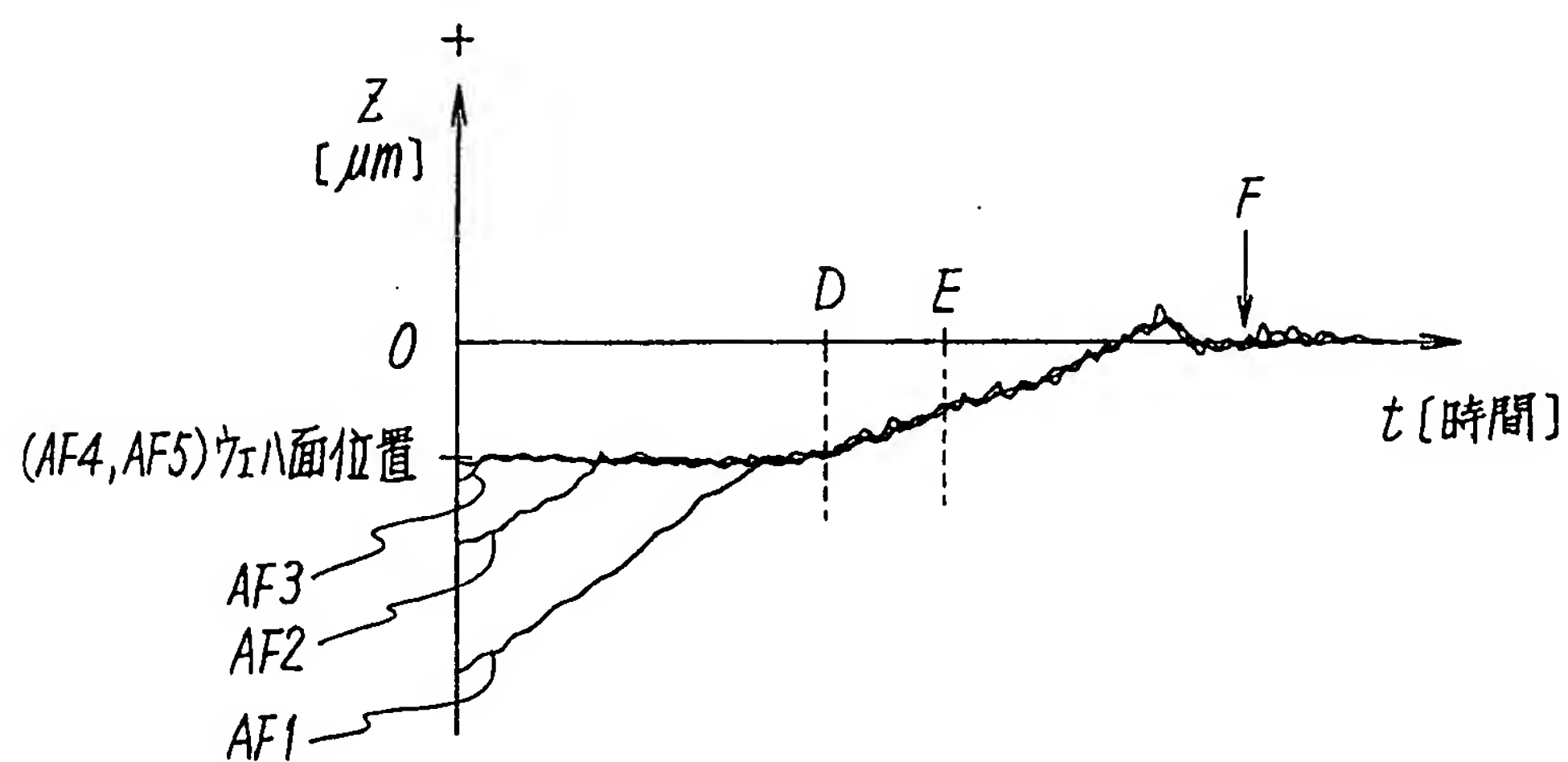
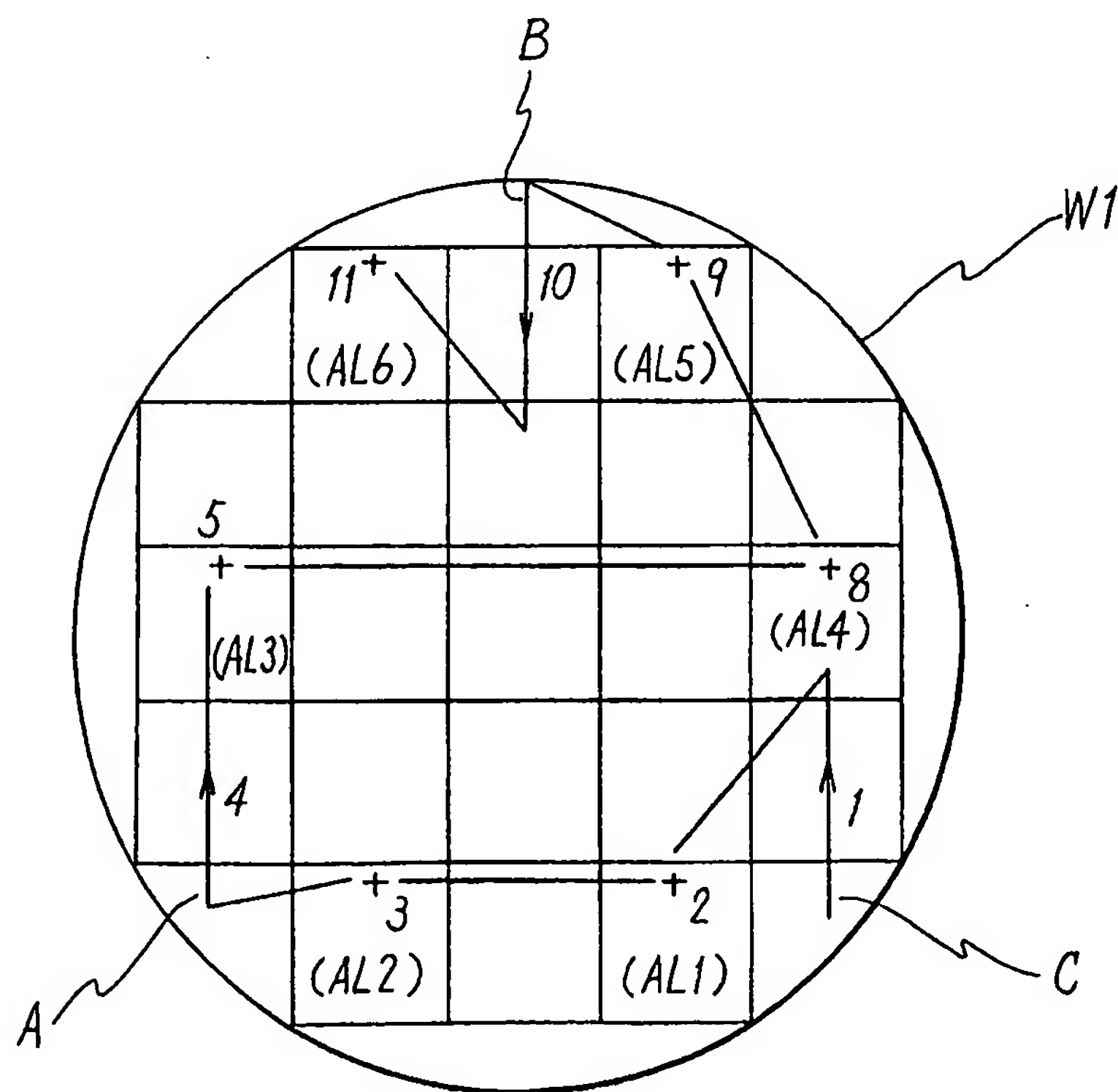


Fig. 16





14/37

Fig. 17

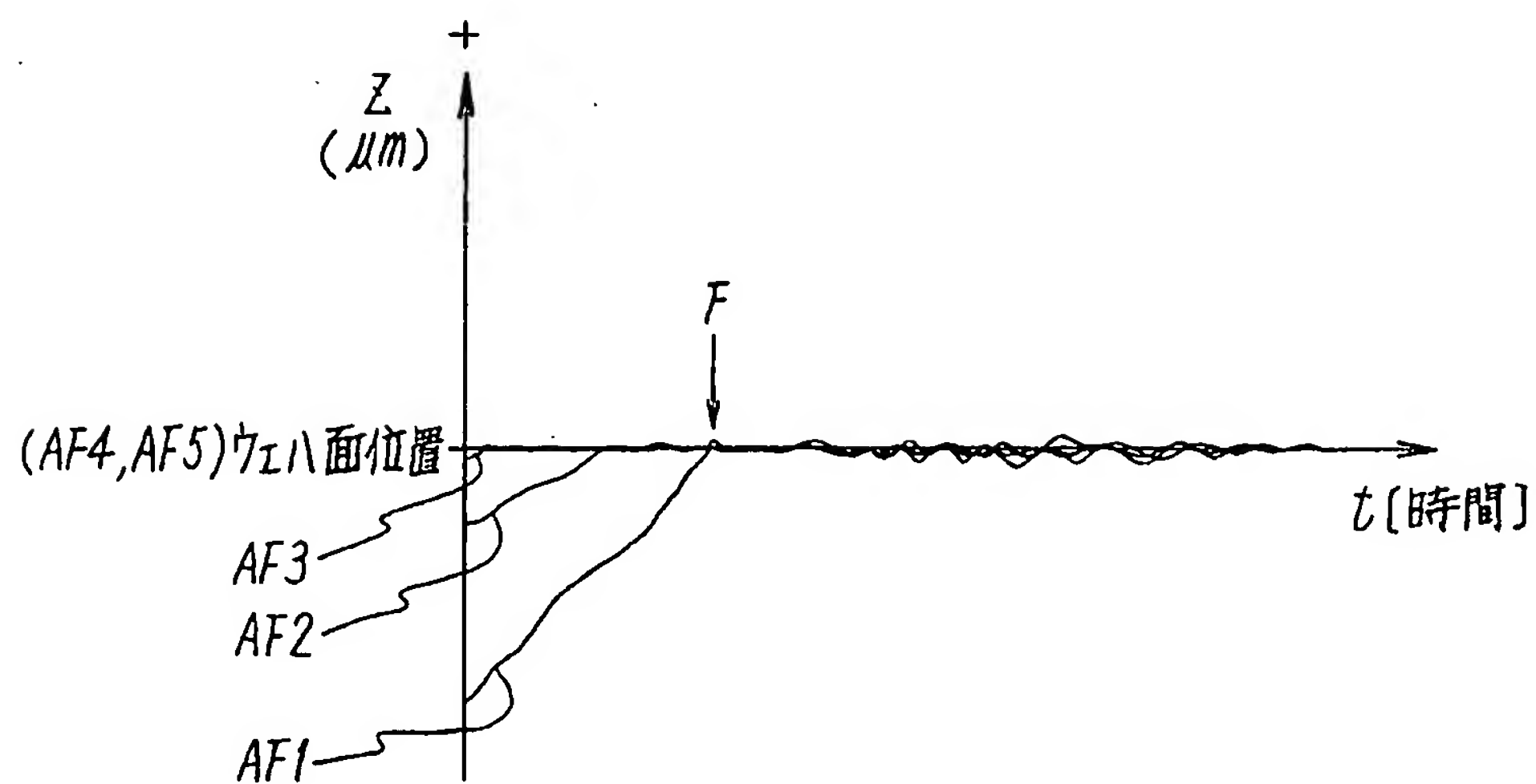
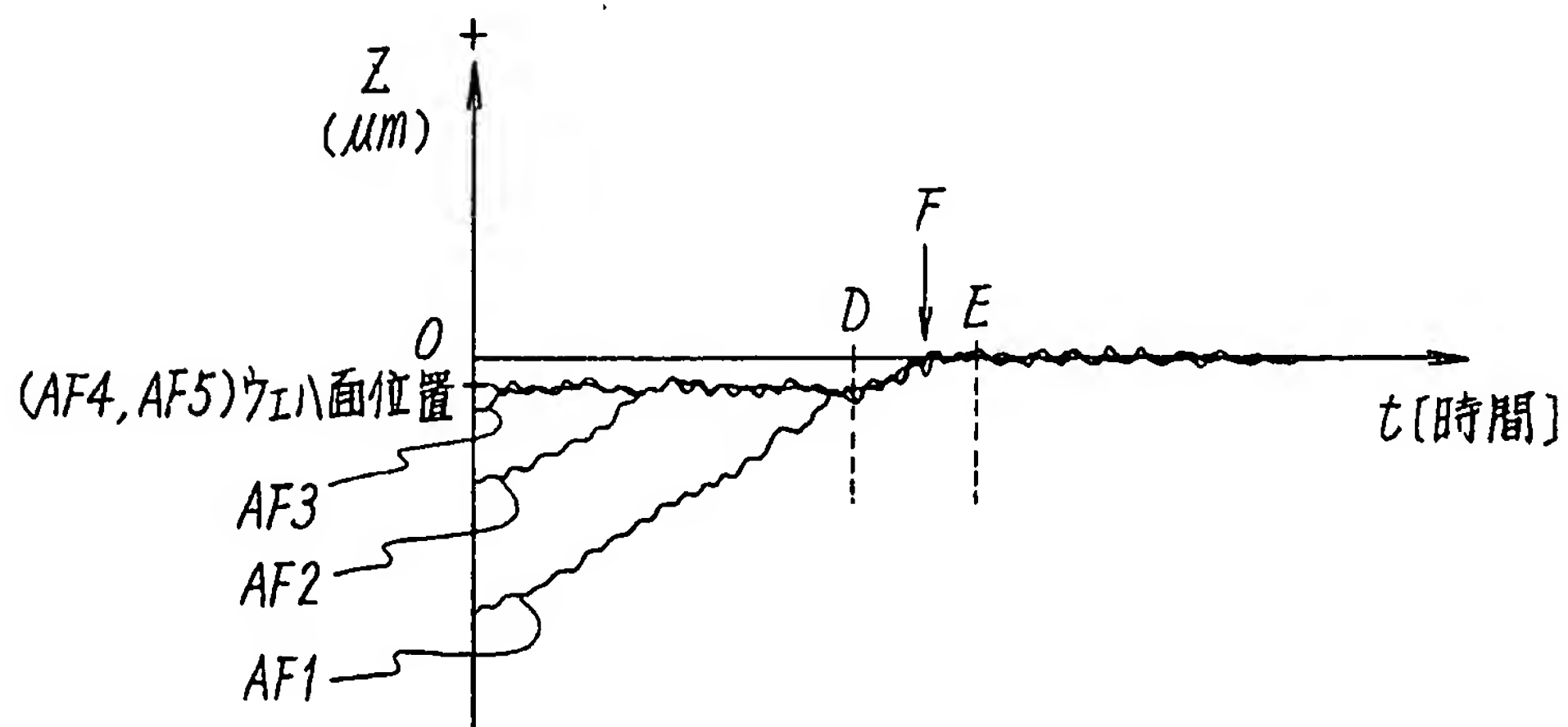


Fig. 18



15/37

Fig. 19A

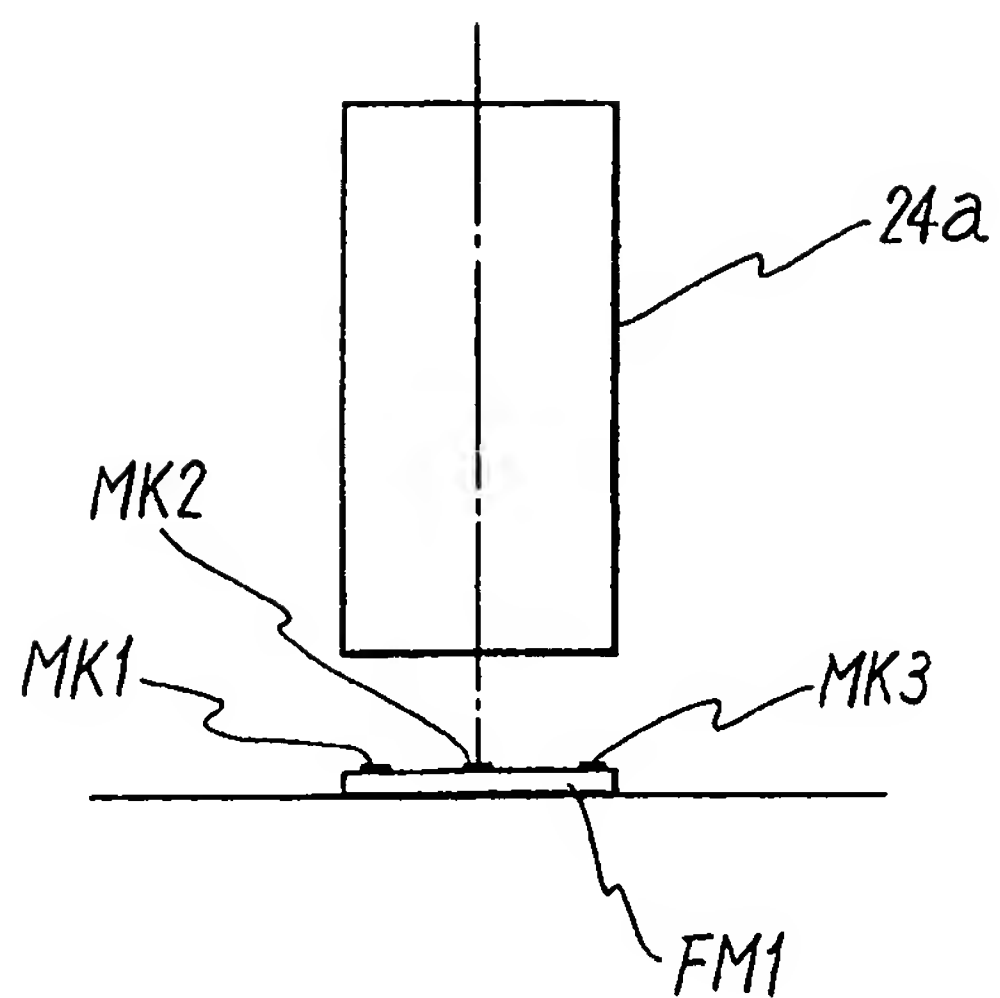


Fig. 19B

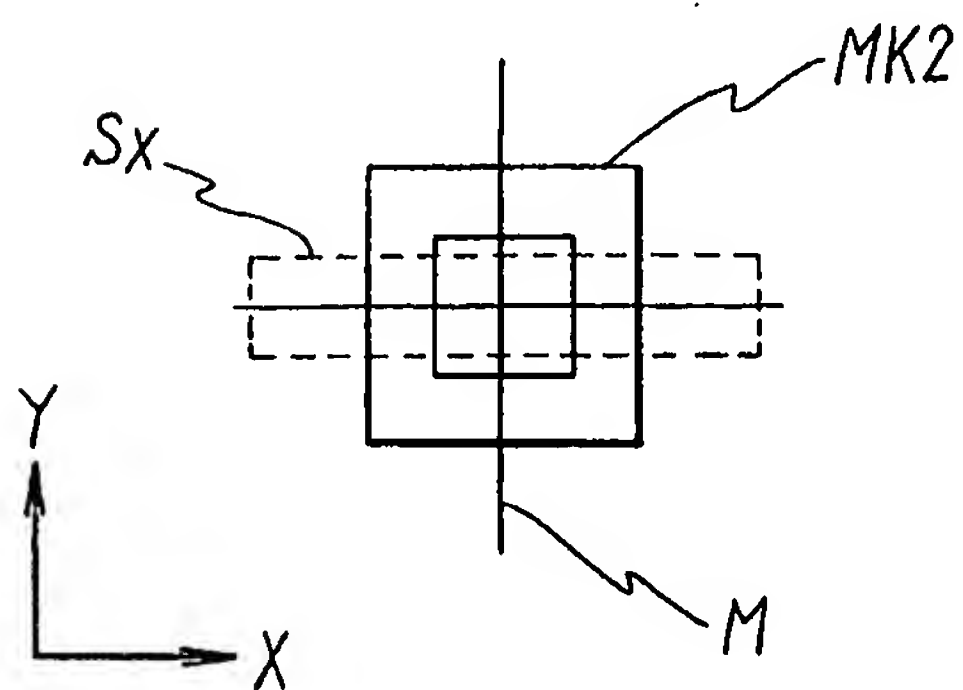
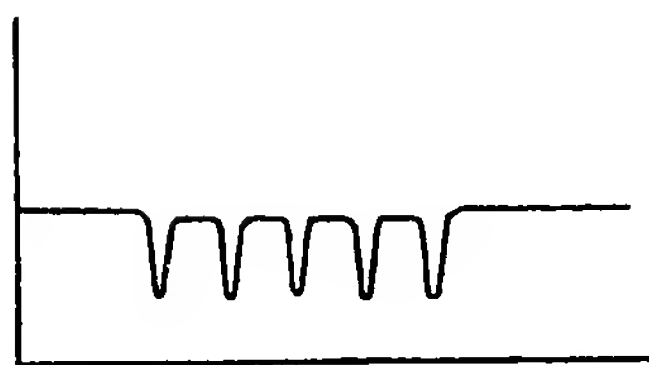


Fig. 19C



16/37

Fig. 20A

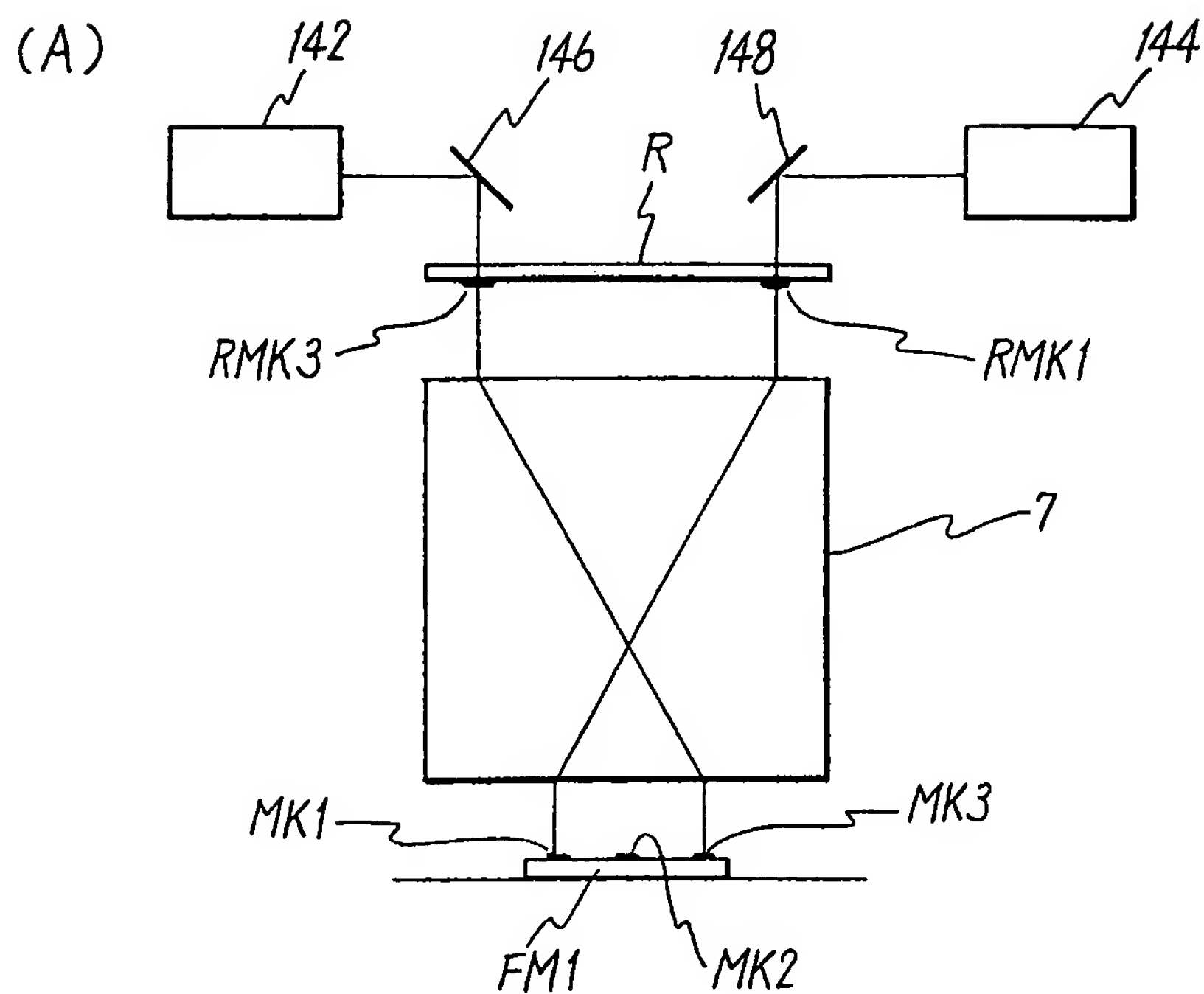
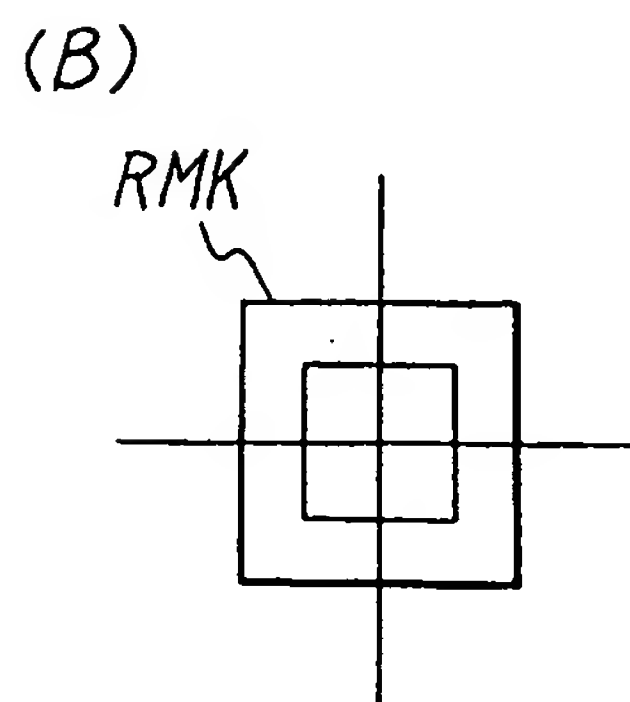


Fig. 20B



17/37

Fig. 20C

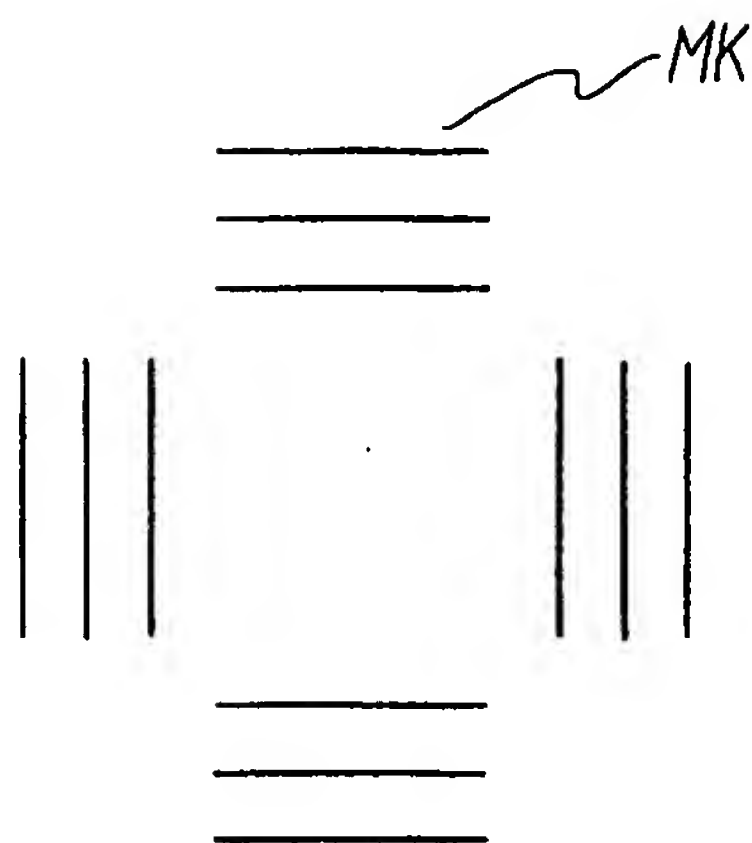


Fig. 20D

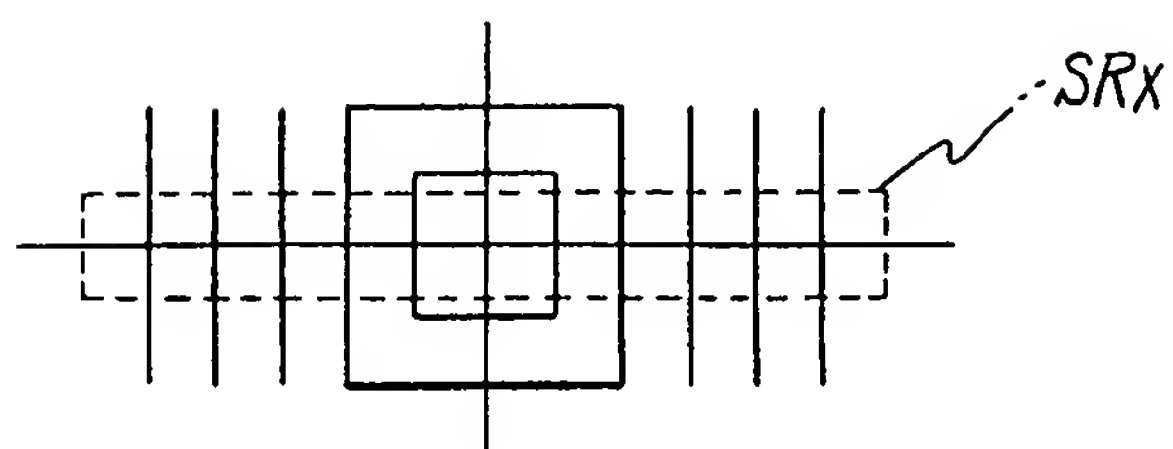
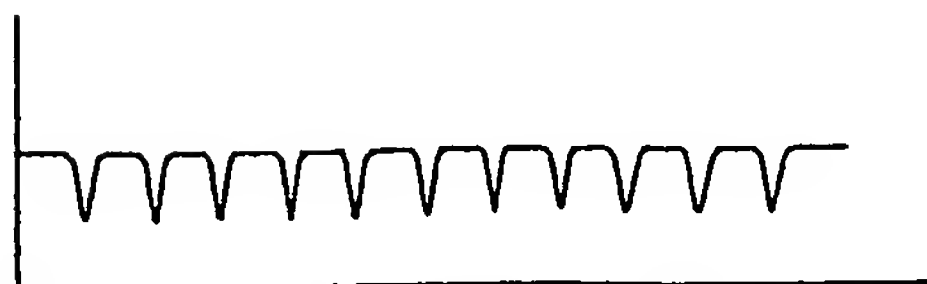
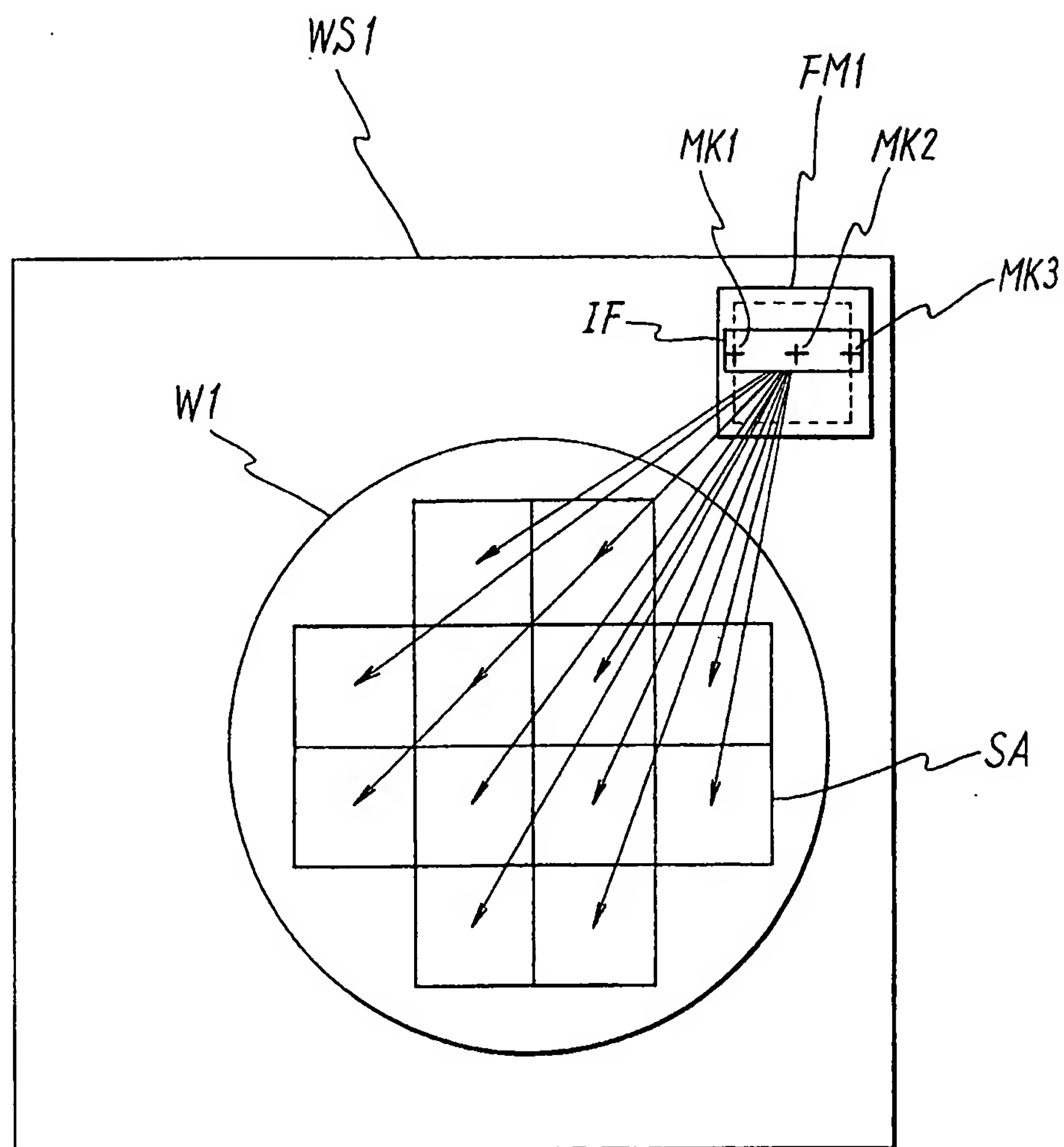


Fig. 20E



18/37

Fig. 21



19/37

Fig. 22

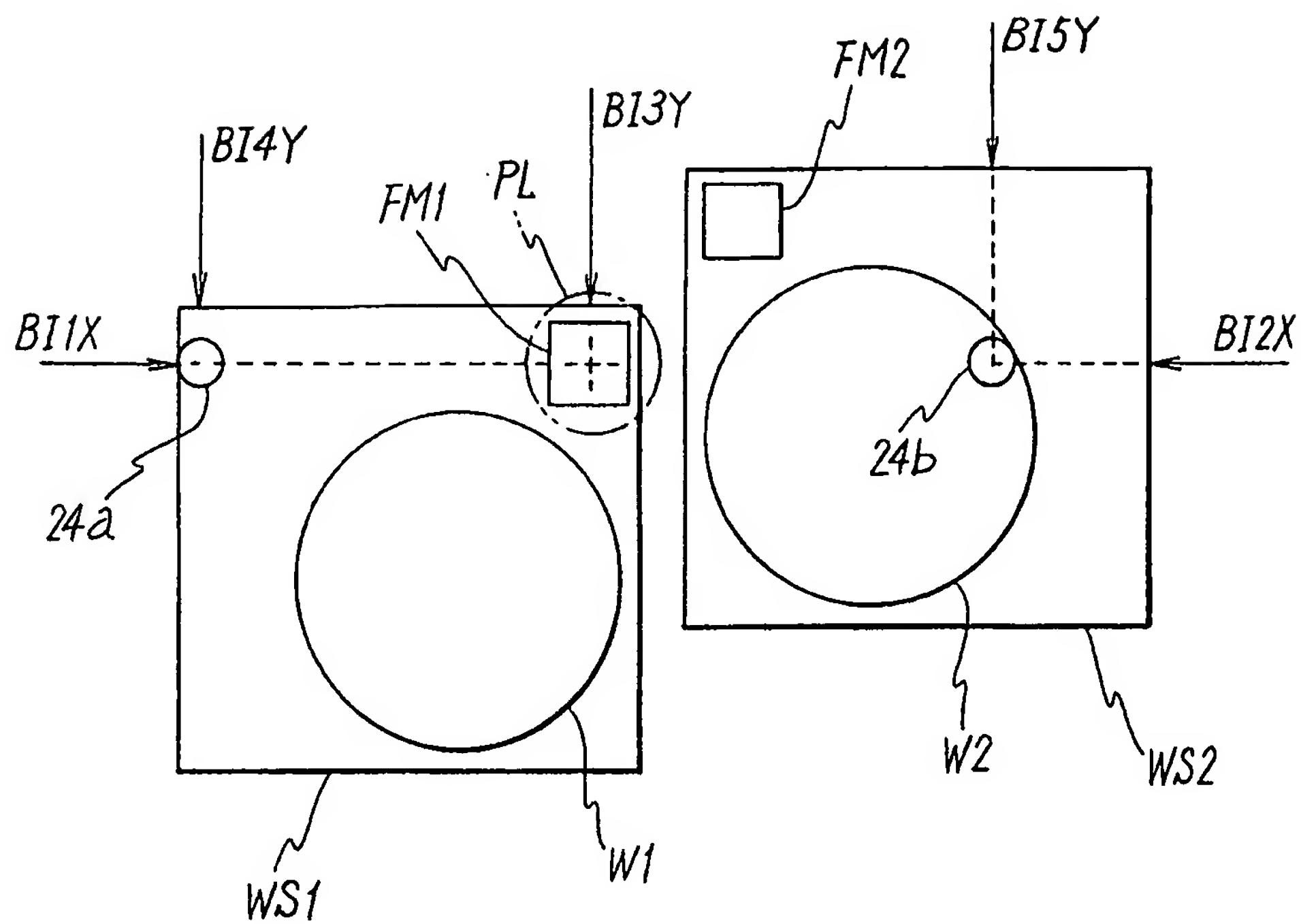
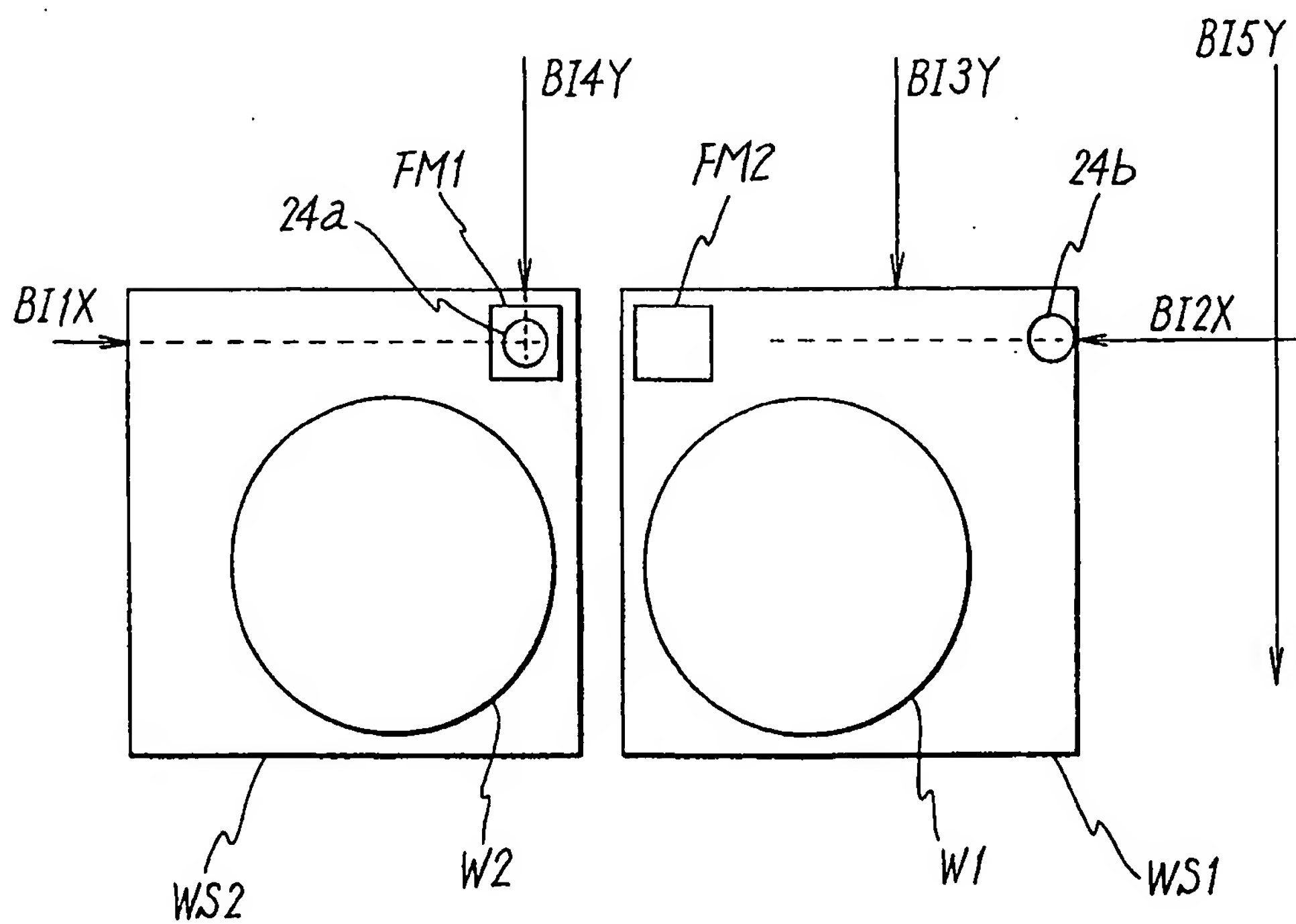
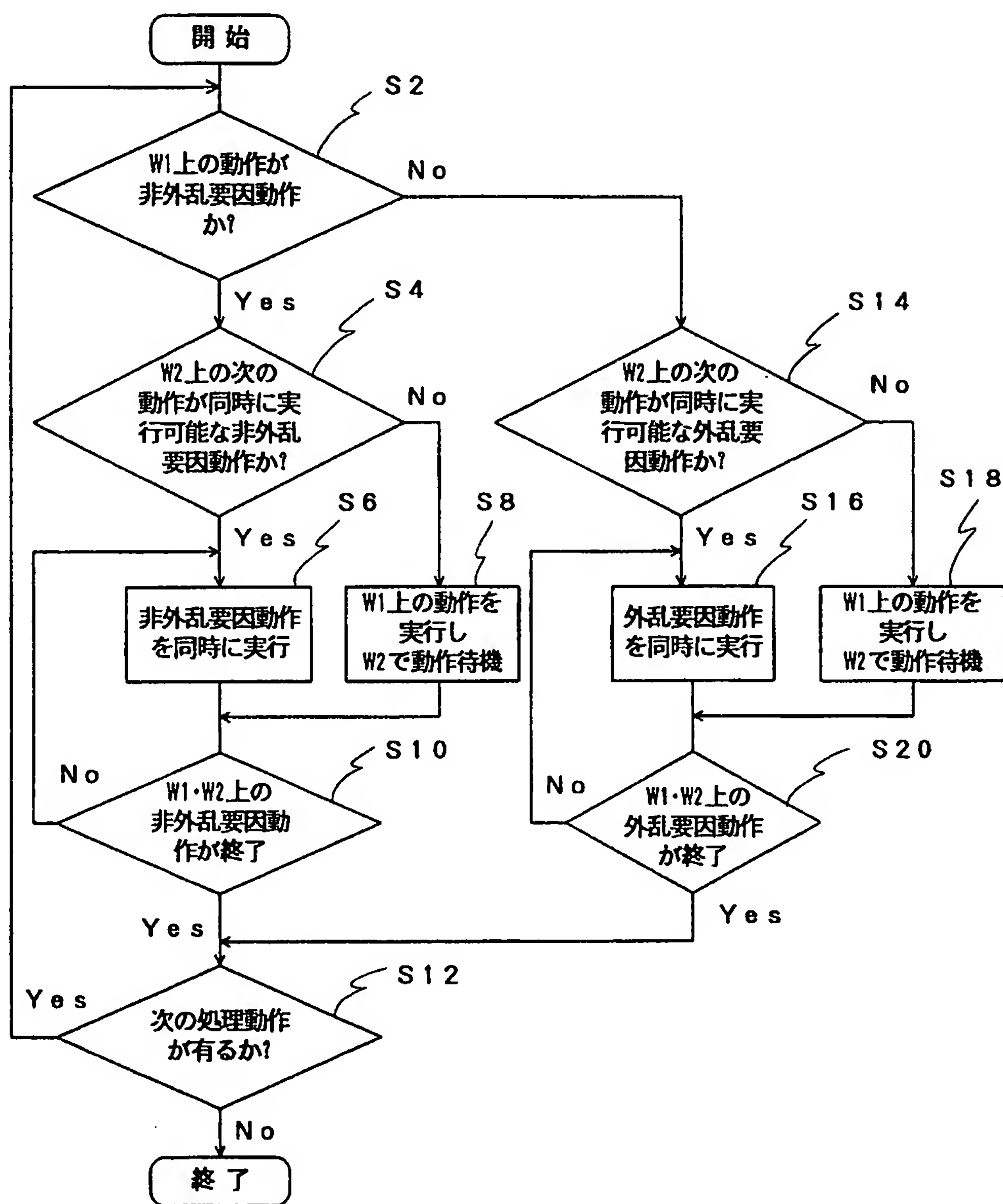


Fig. 23



20/37

Fig. 24





21/37

Fig. 25A

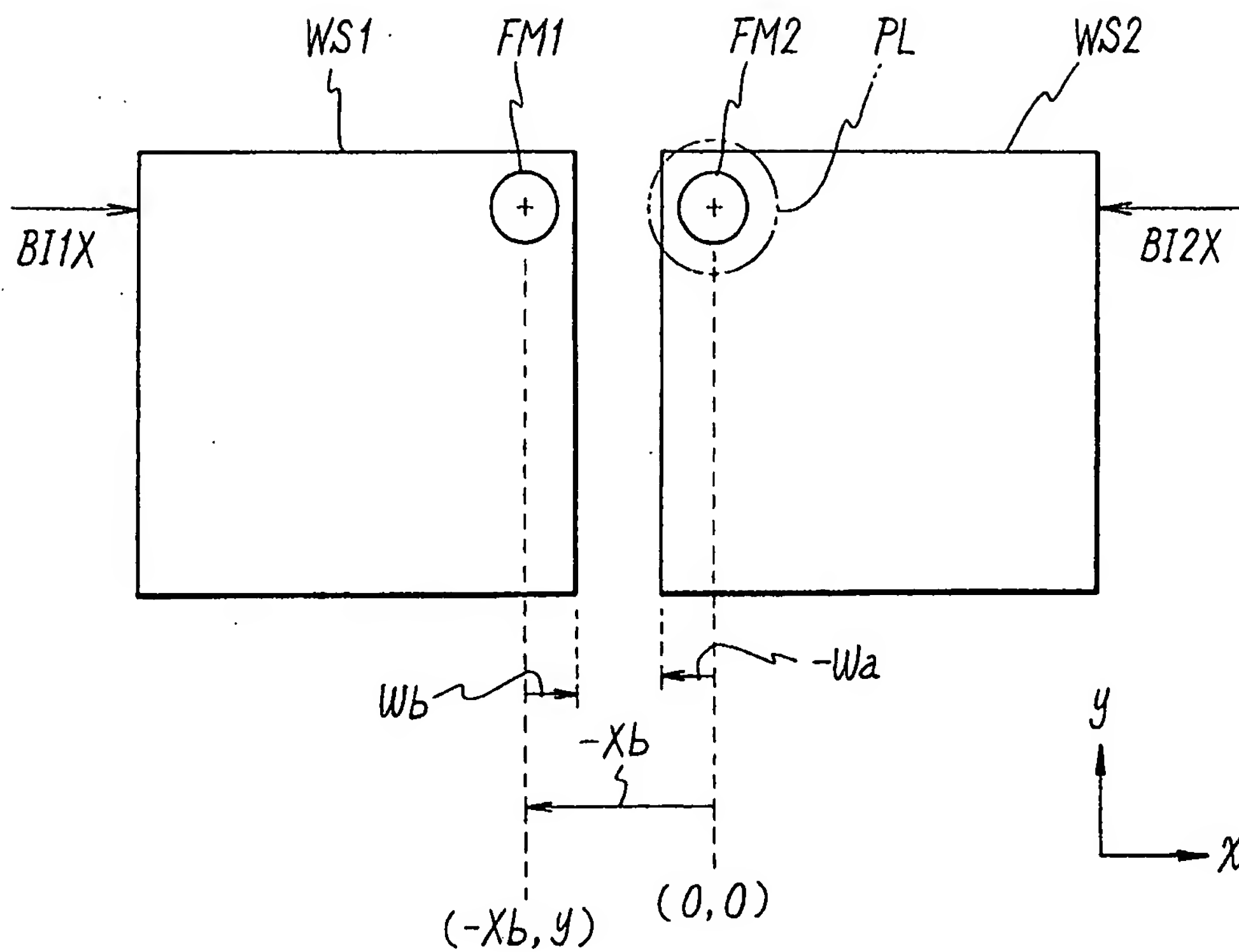
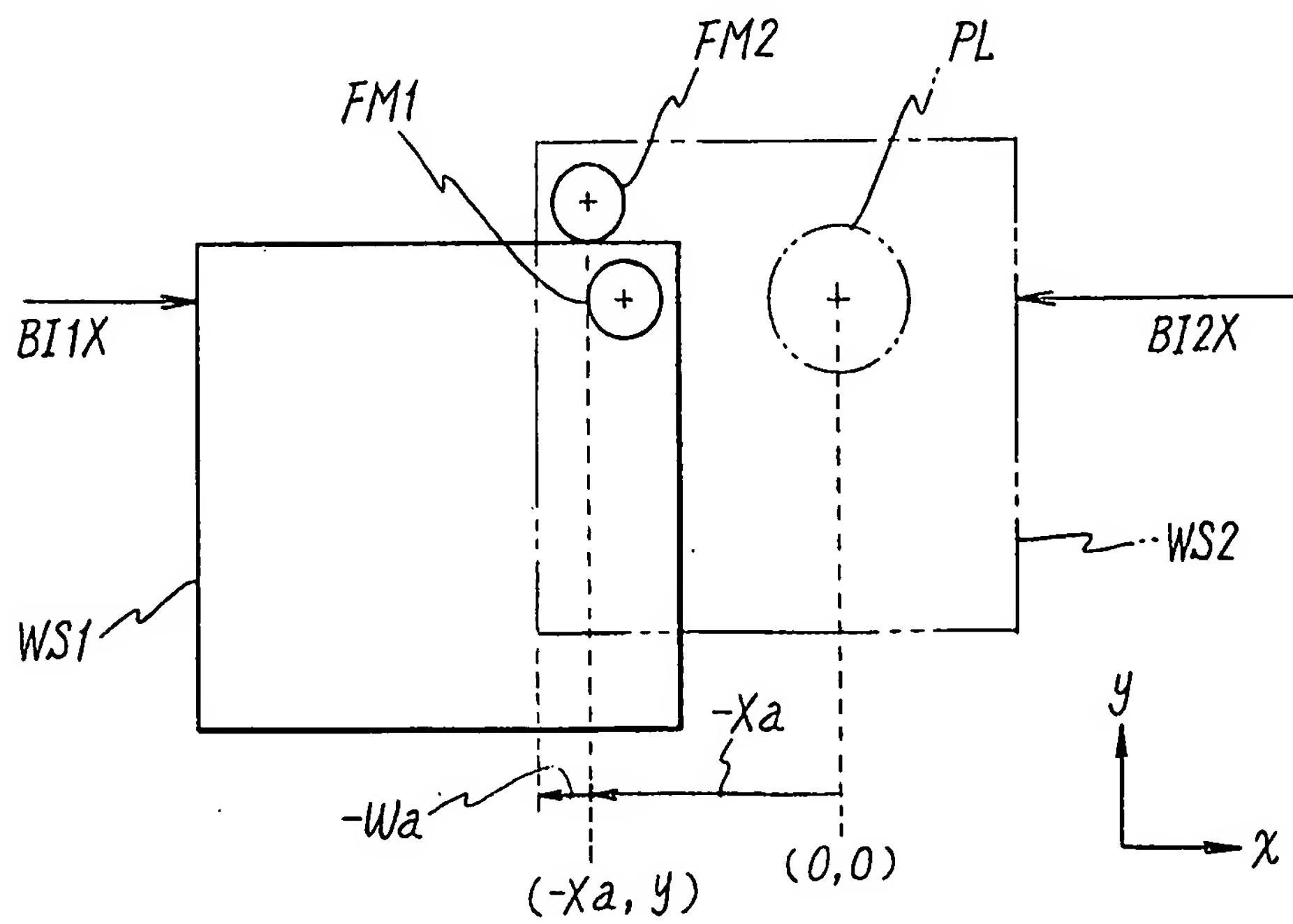


Fig. 25B



22/37

Fig. 26

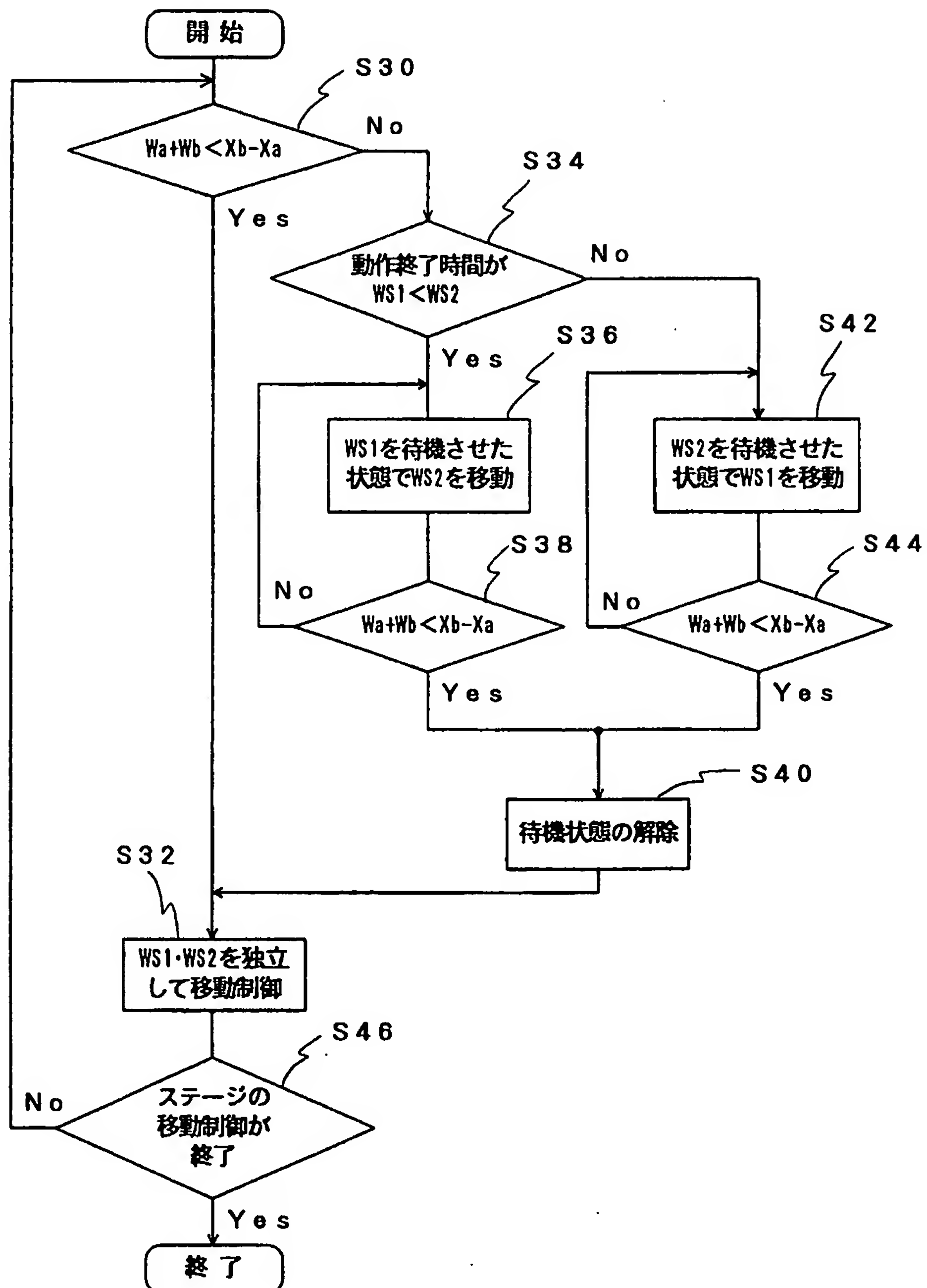


Fig. 27A

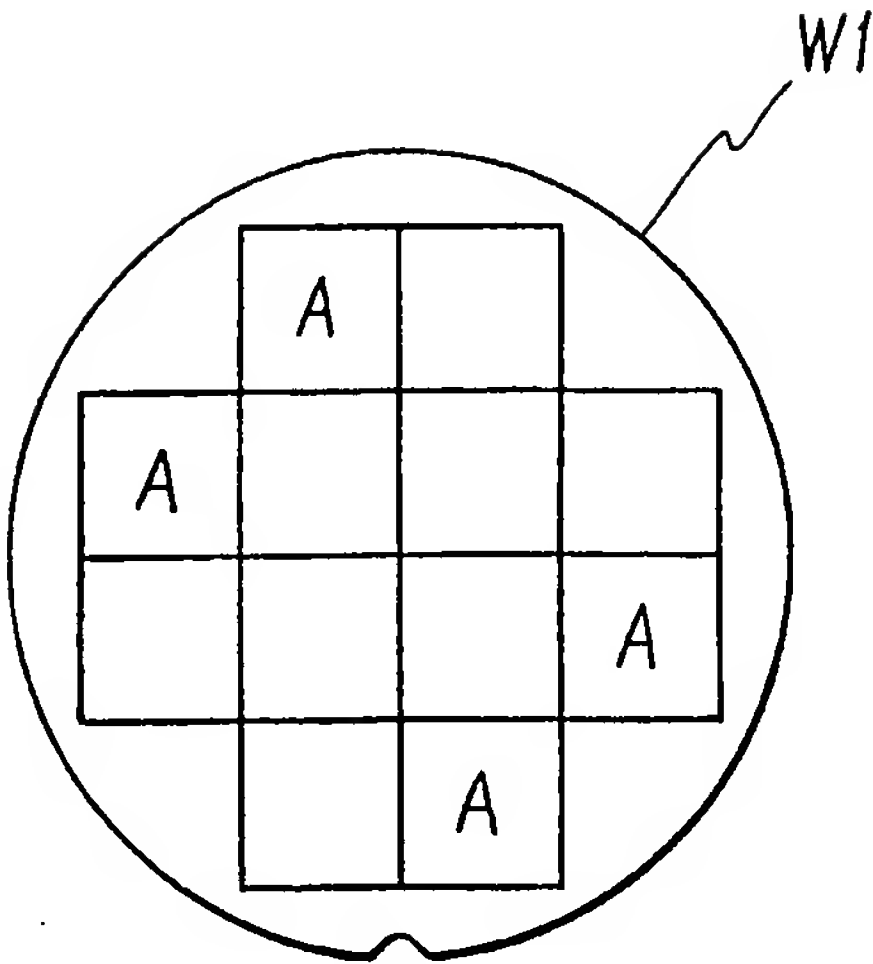
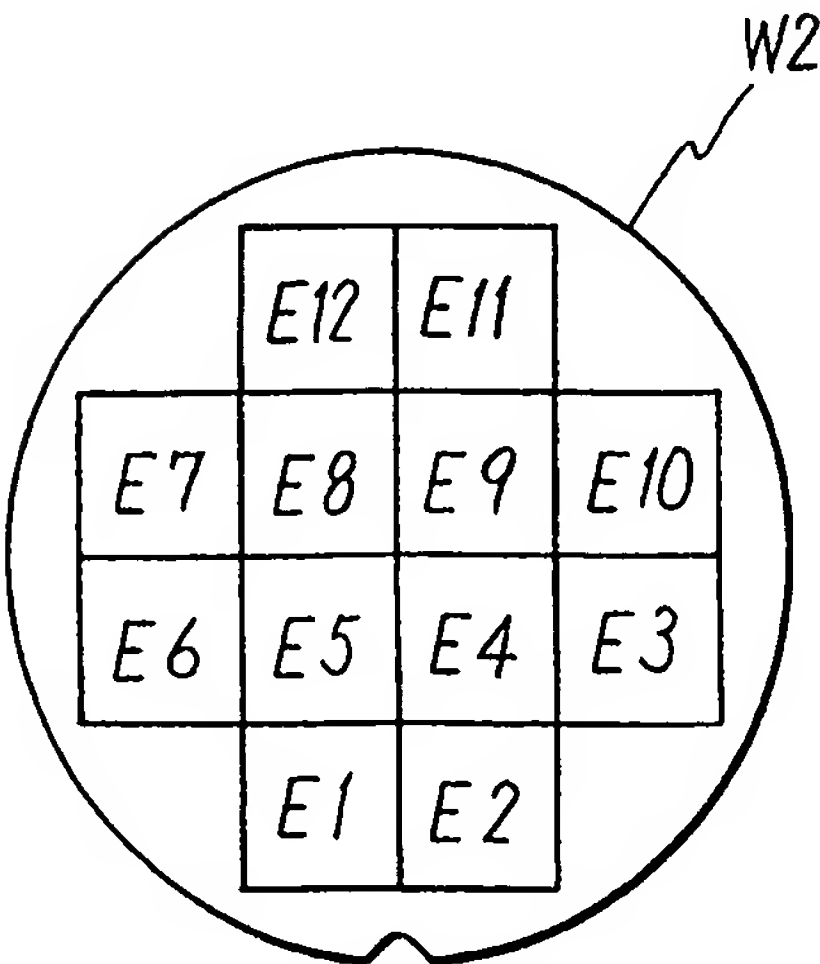


Fig. 27B



24/37

Fig. 28A

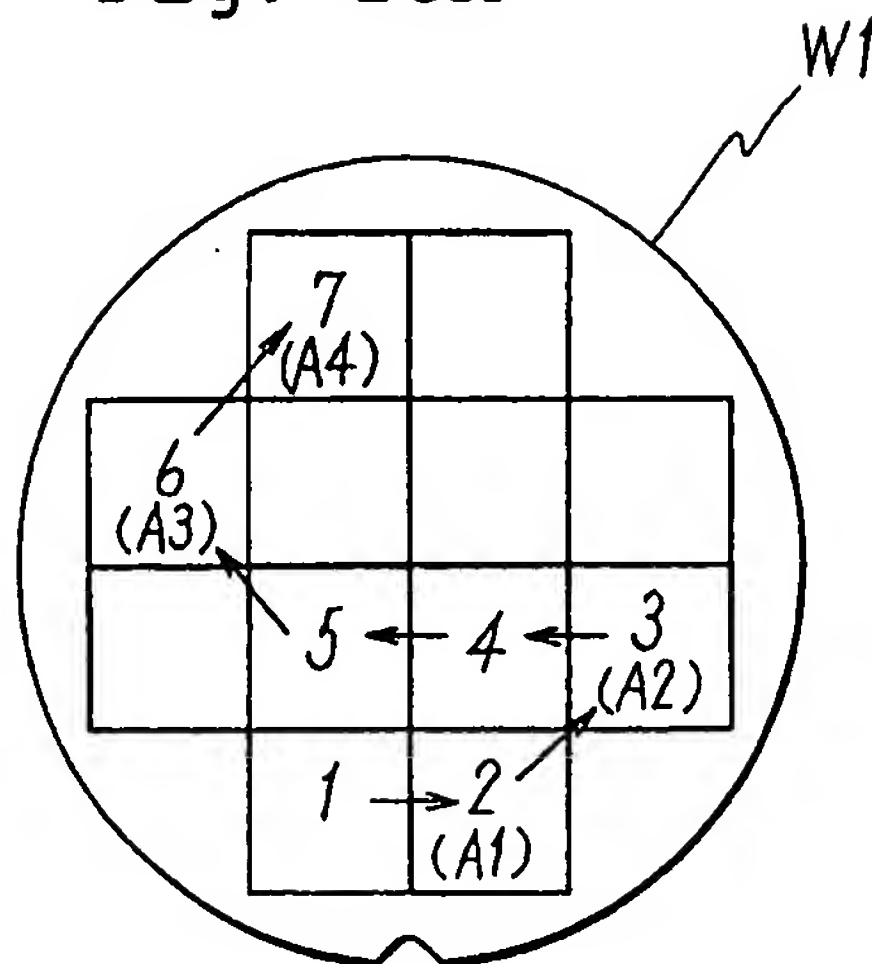
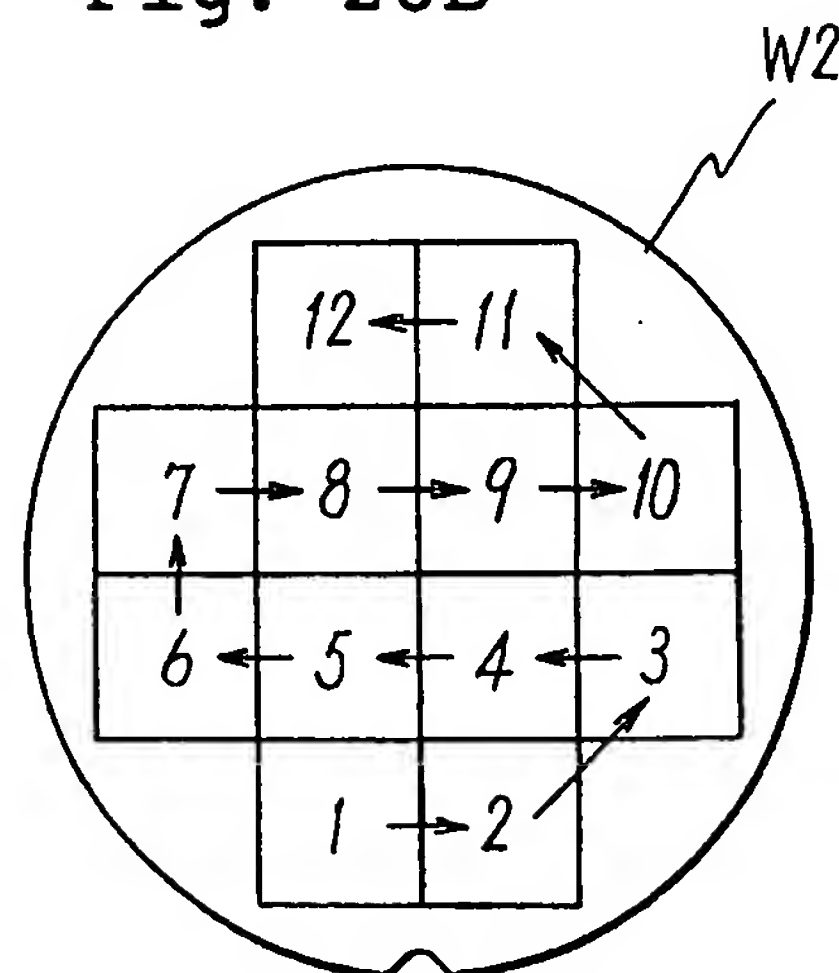


Fig. 28B





26/37

Fig. 30

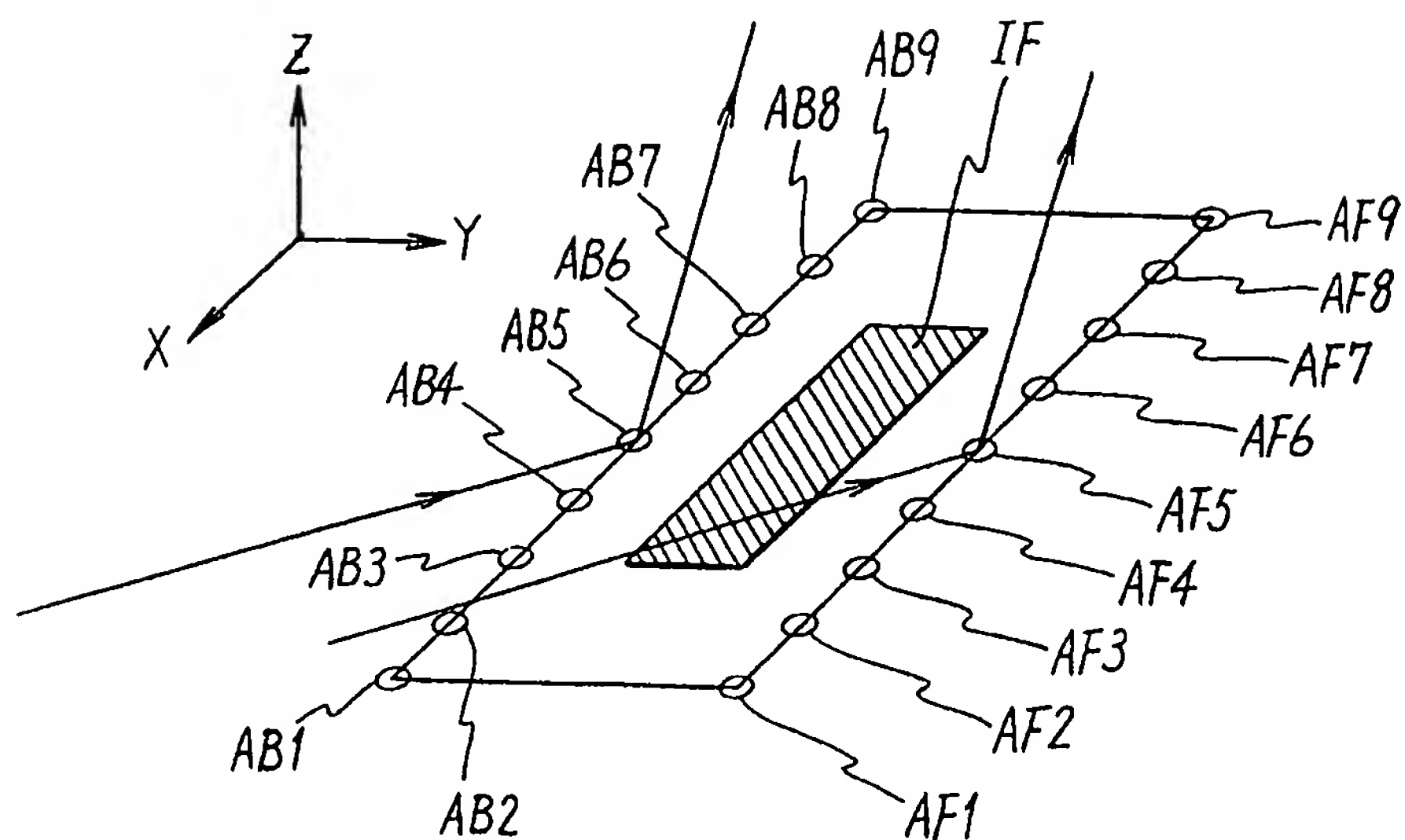
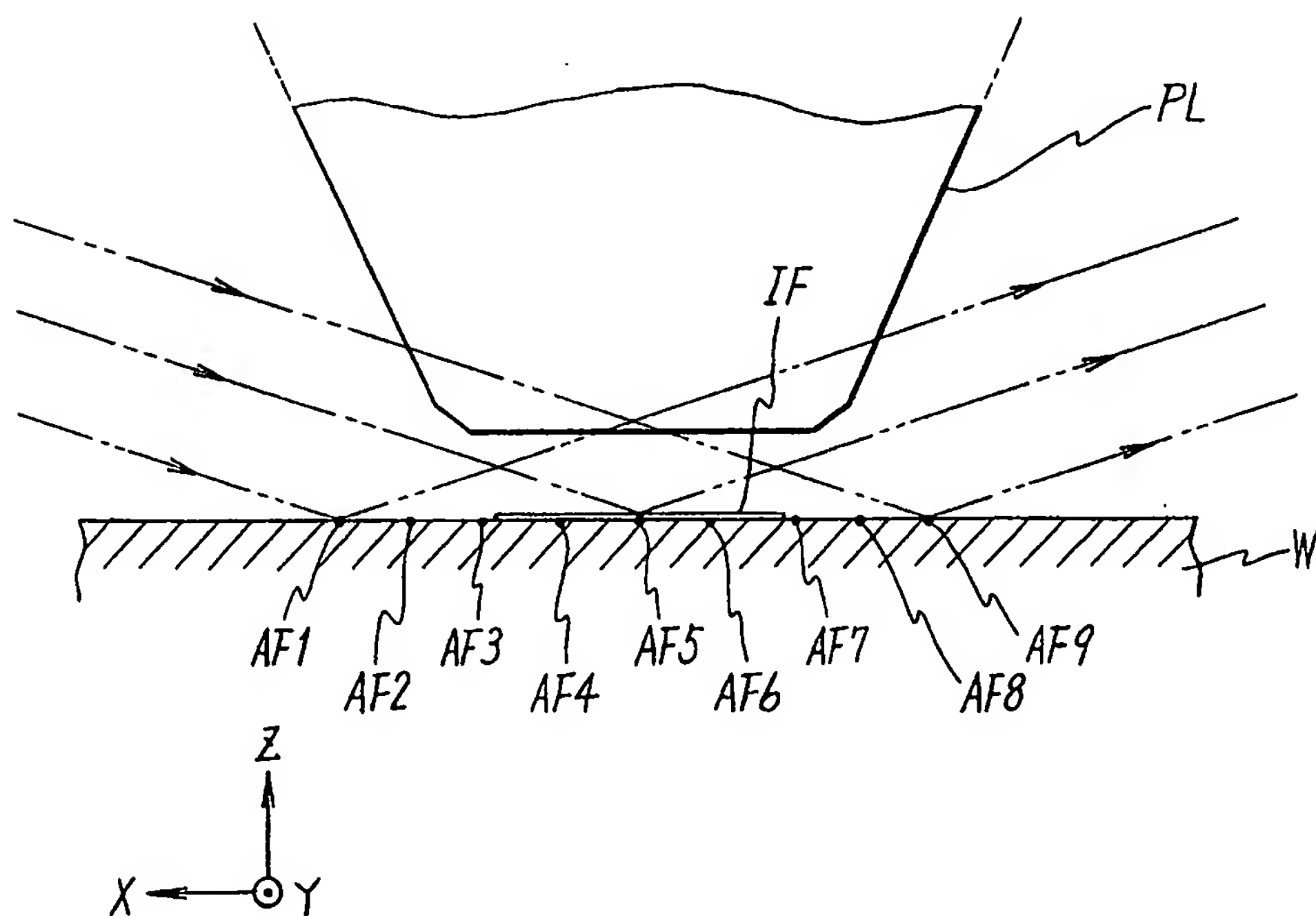


Fig. 31



27/37

Fig. 32

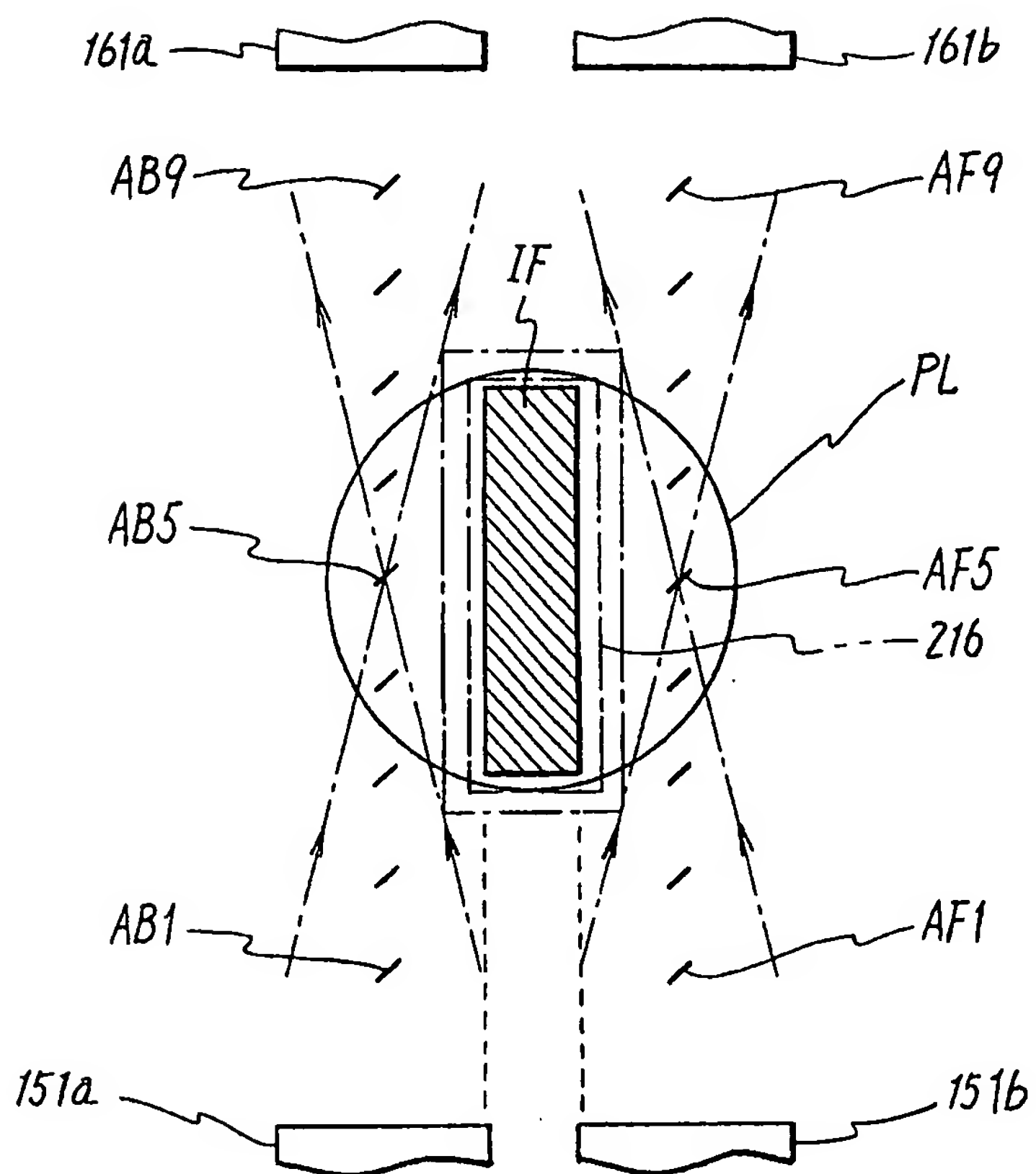
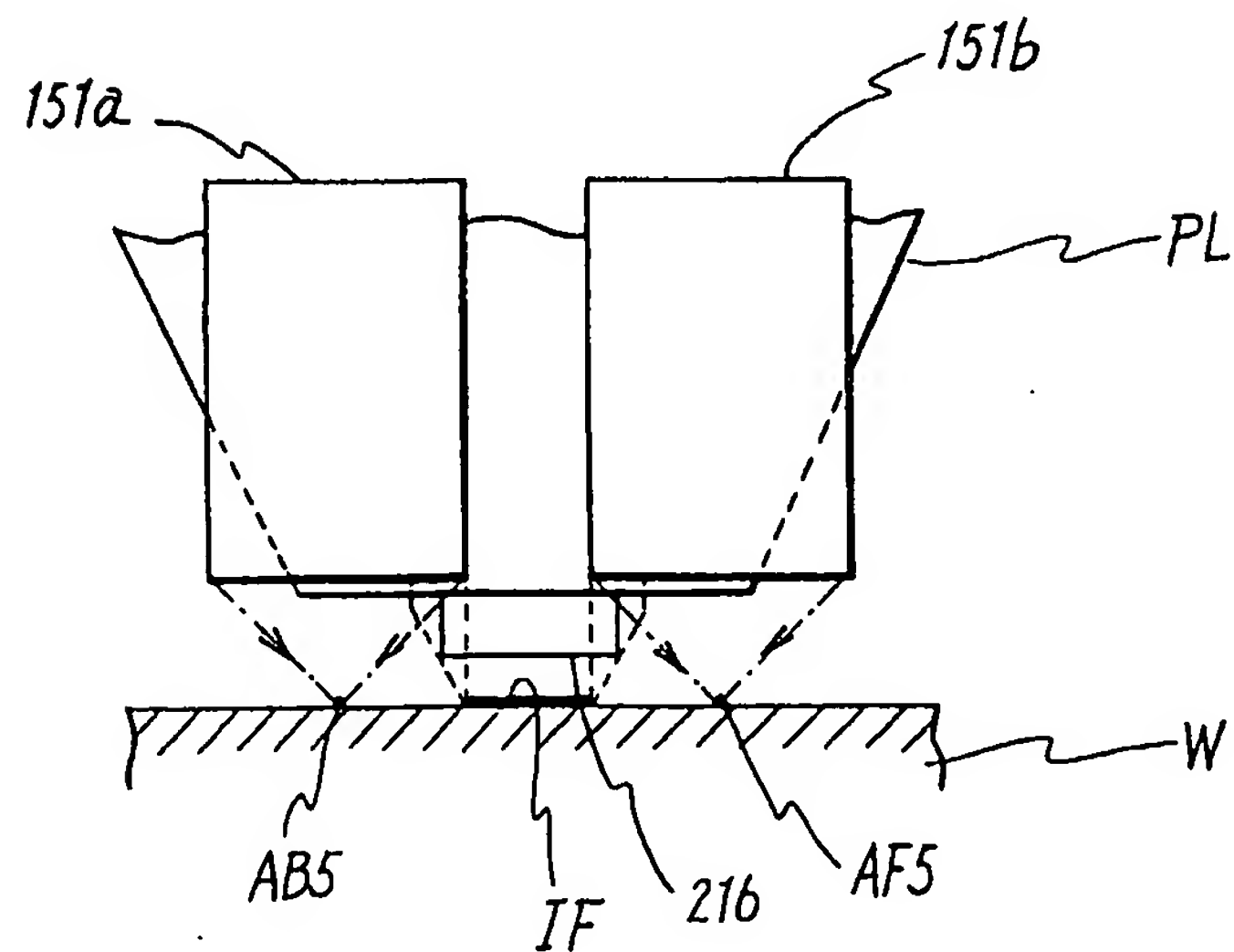


Fig. 33





28/37

Fig. 34

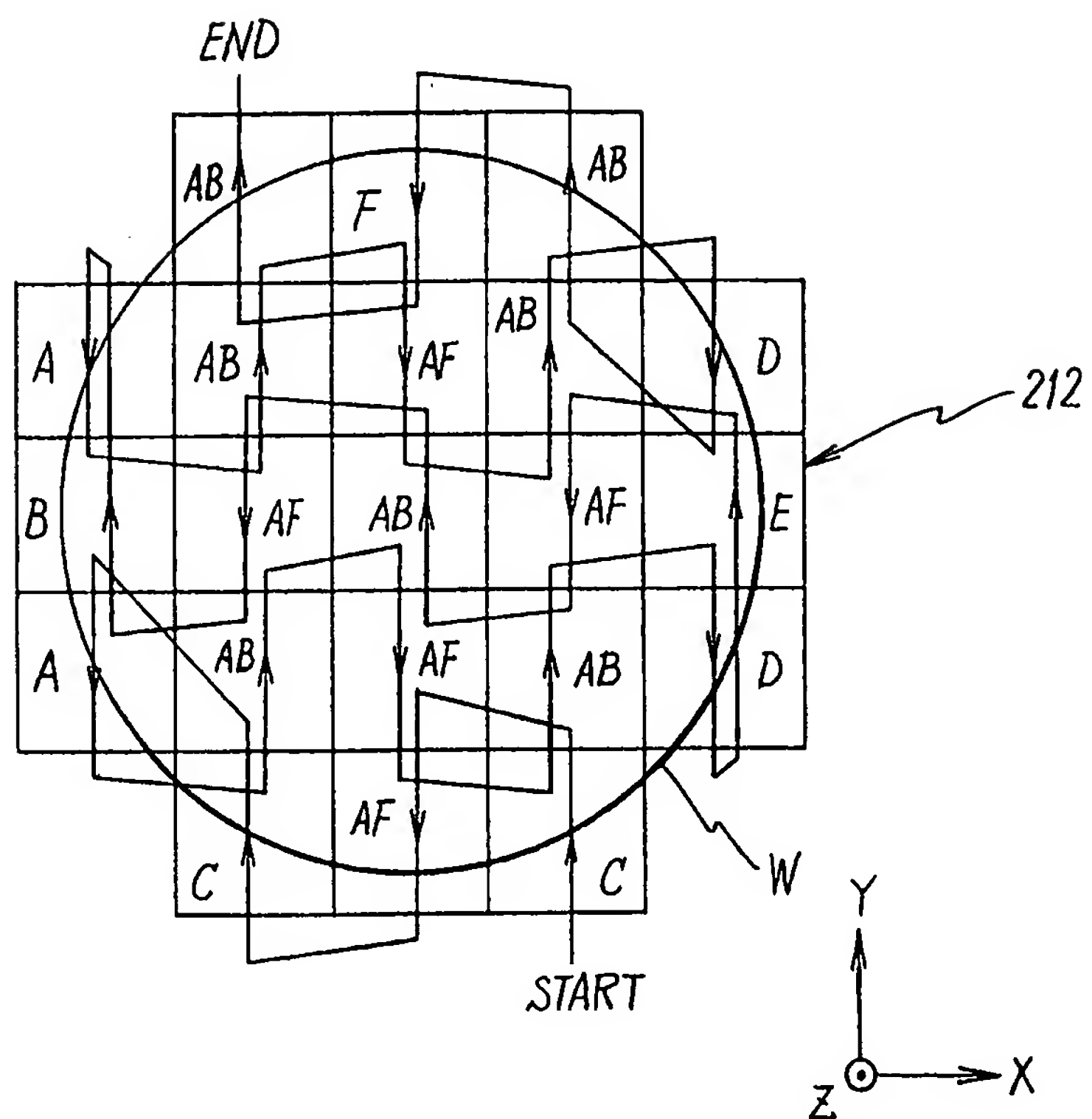
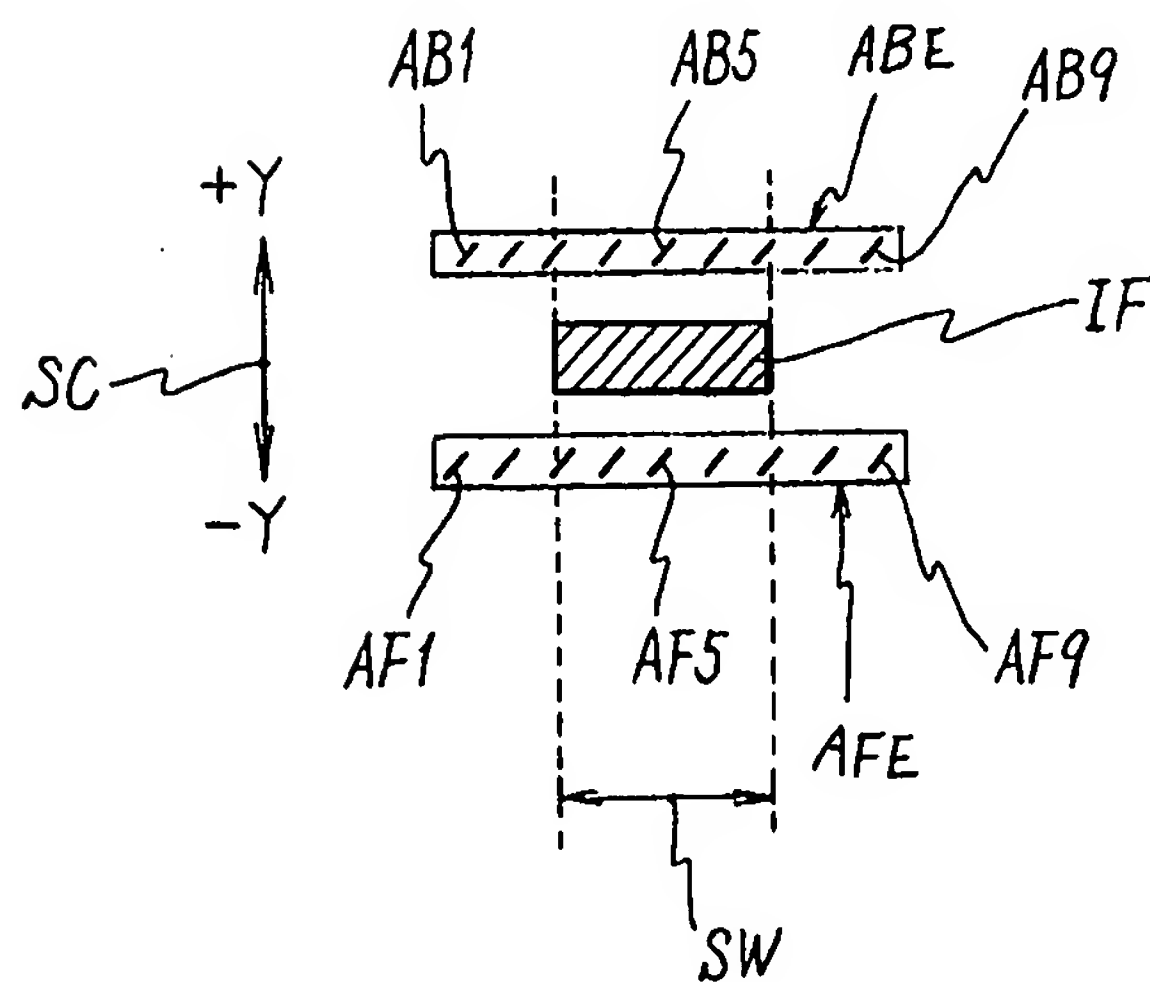


Fig. 35

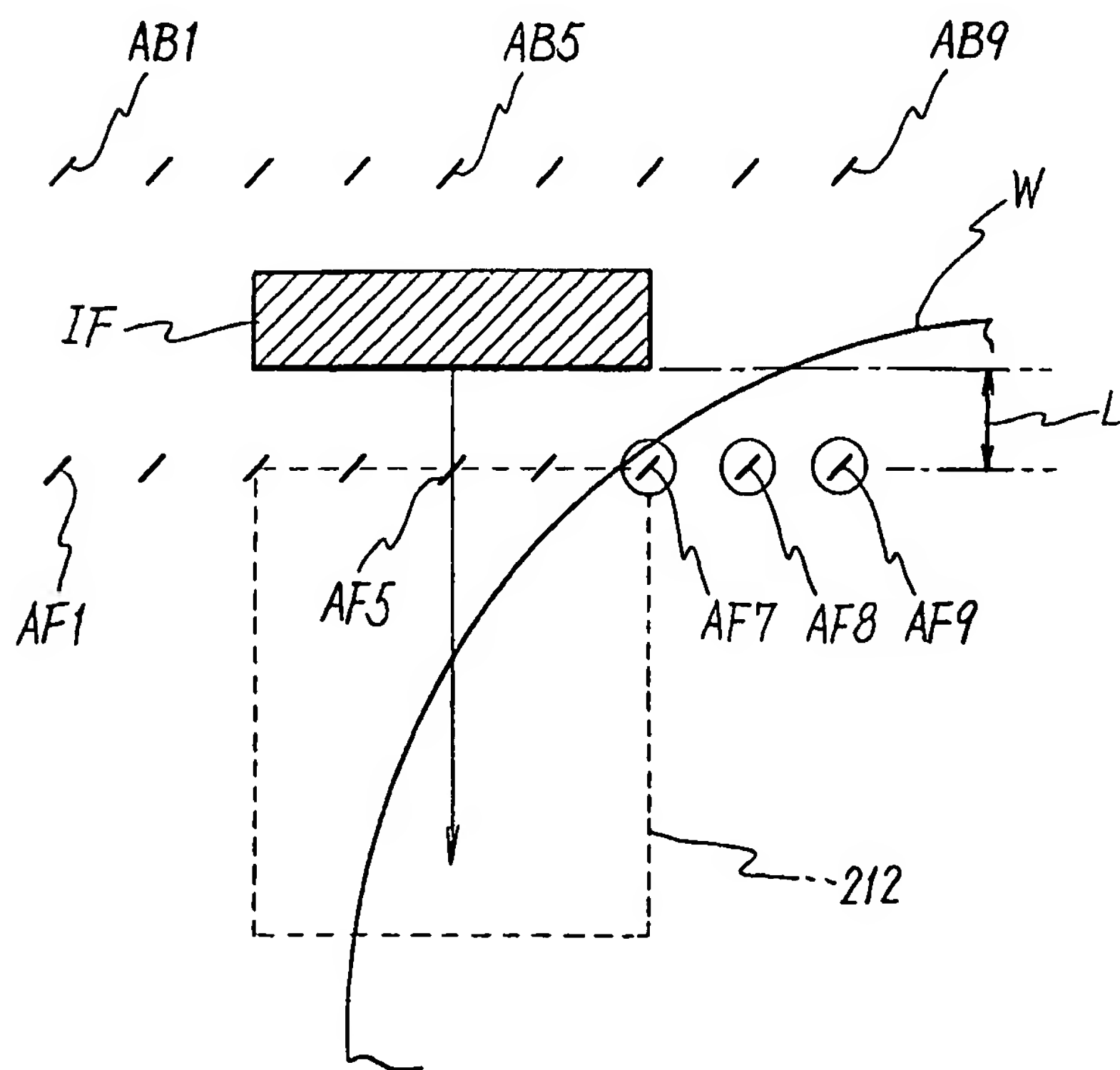


29/37

Fig. 36

	F/B	AF									AB								
	No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9
グループ名	A							○	○	○									
	B														○	○	○	○	○
	C						○	○	○	○									
	D	○	○	○															
	E										○	○	○	○	○				
	F												○	○	○	○	○		
	AF			○	○	○	○	○											
	AB												○	○	○	○	○		

Fig. 37



30/37

Fig. 38

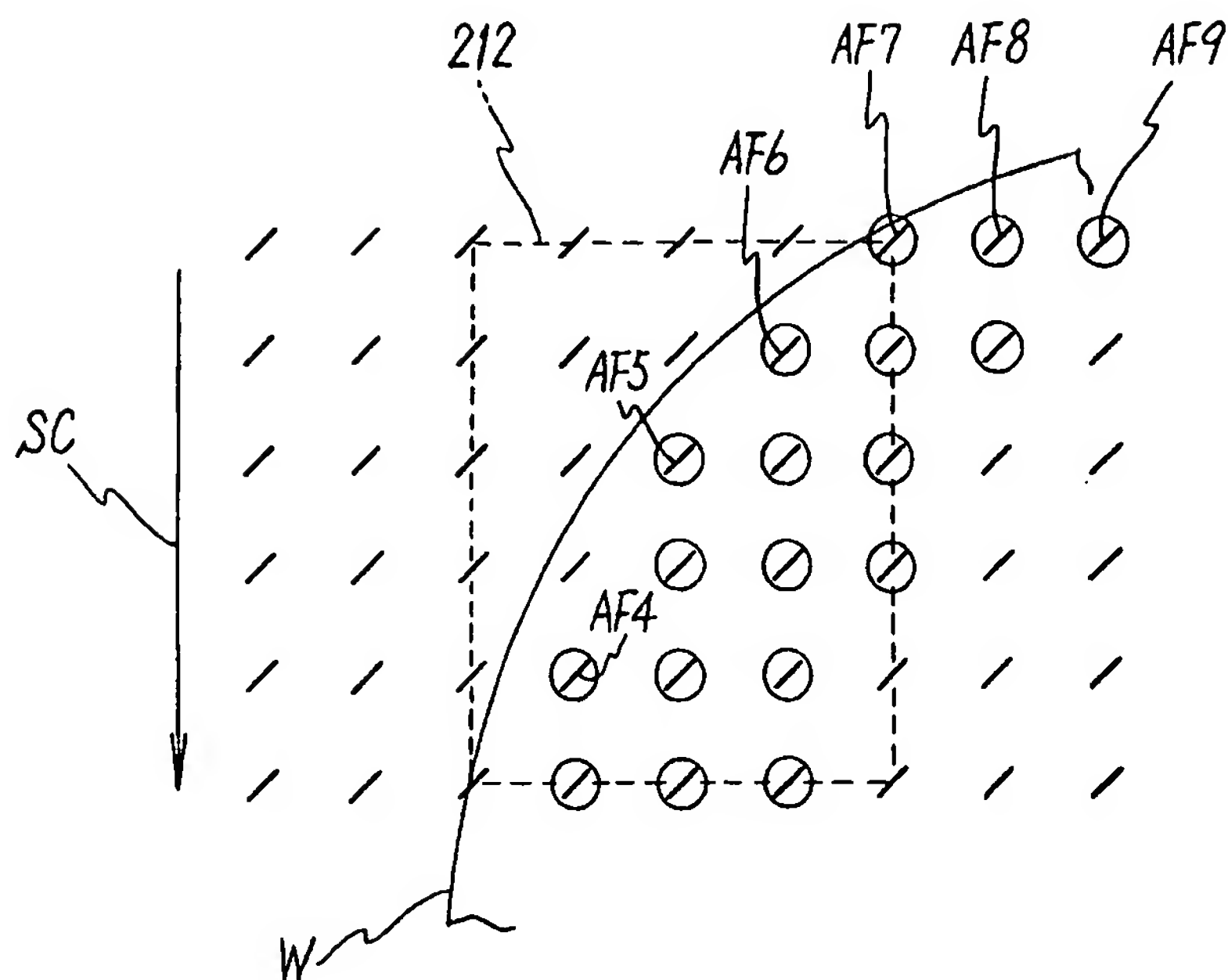
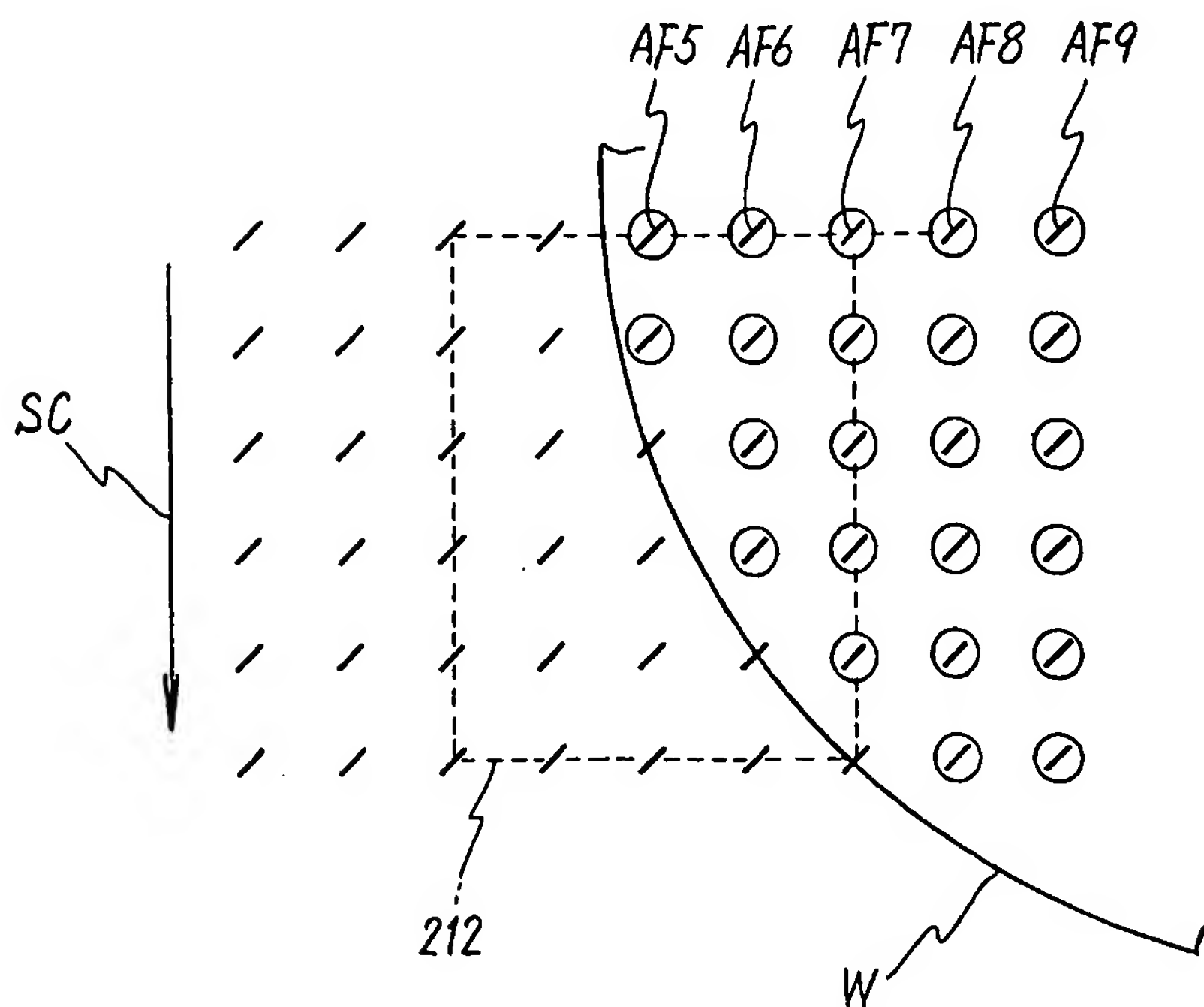


Fig. 39



31/37

Fig. 40

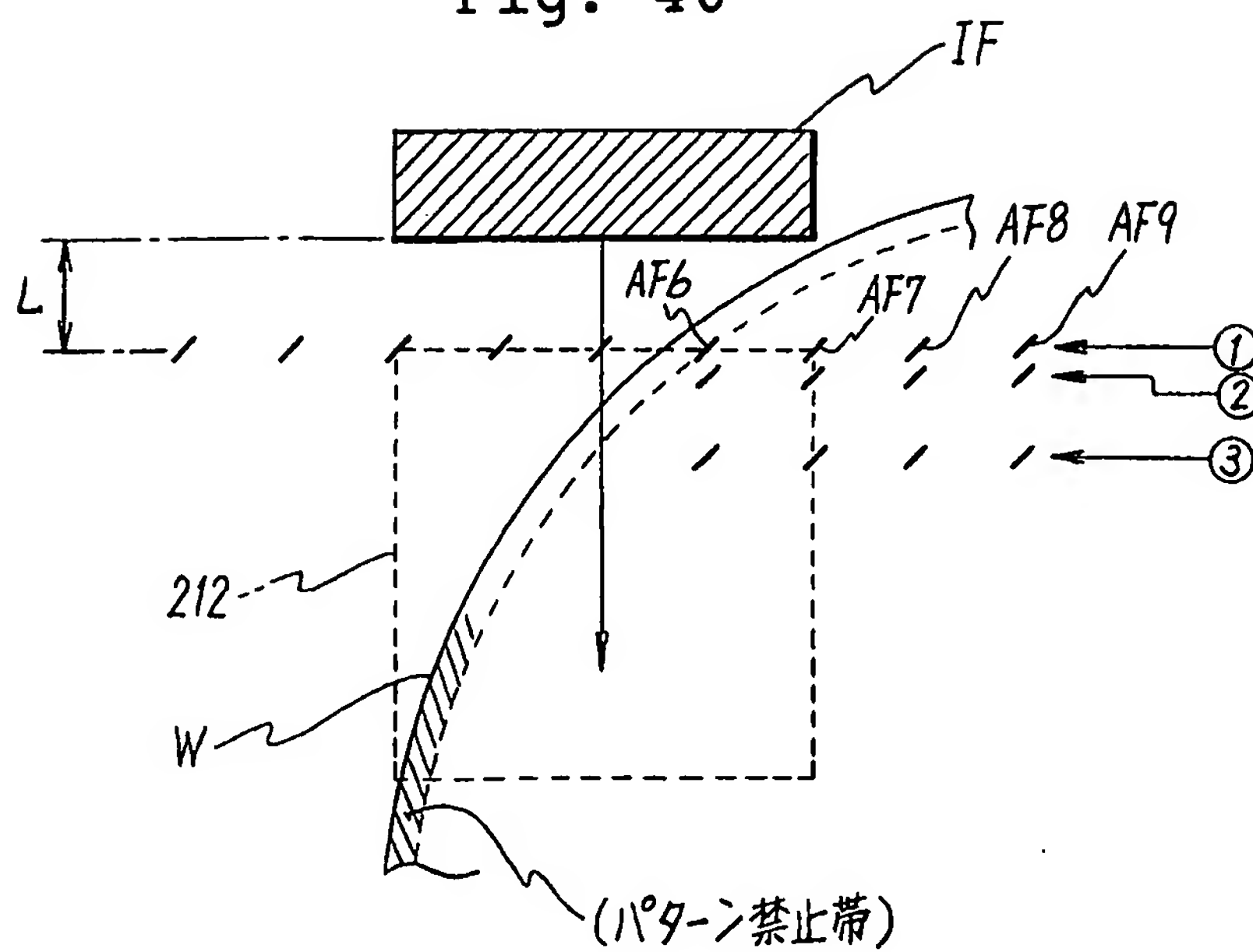
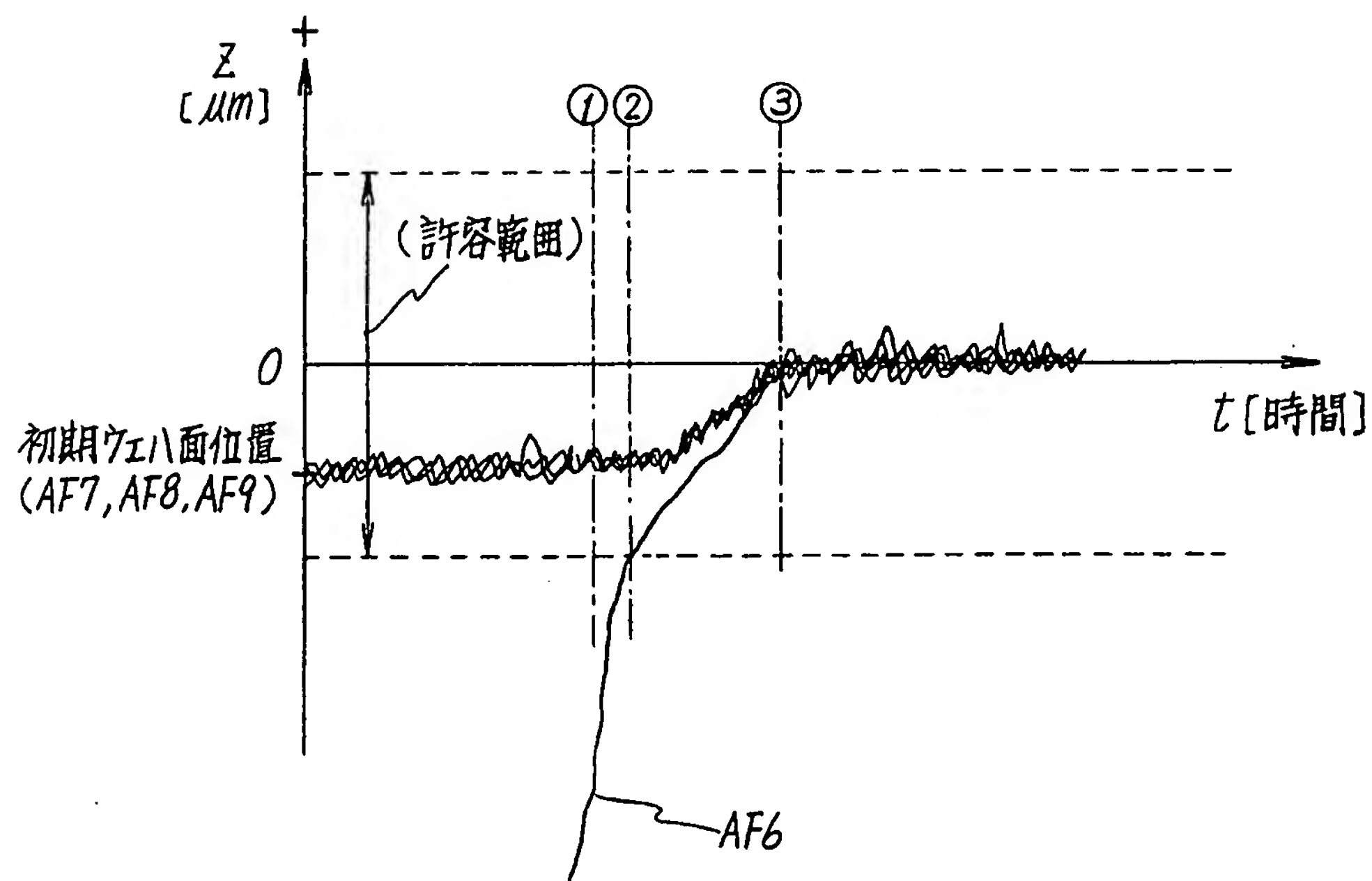


Fig. 41



32/37

Fig. 42

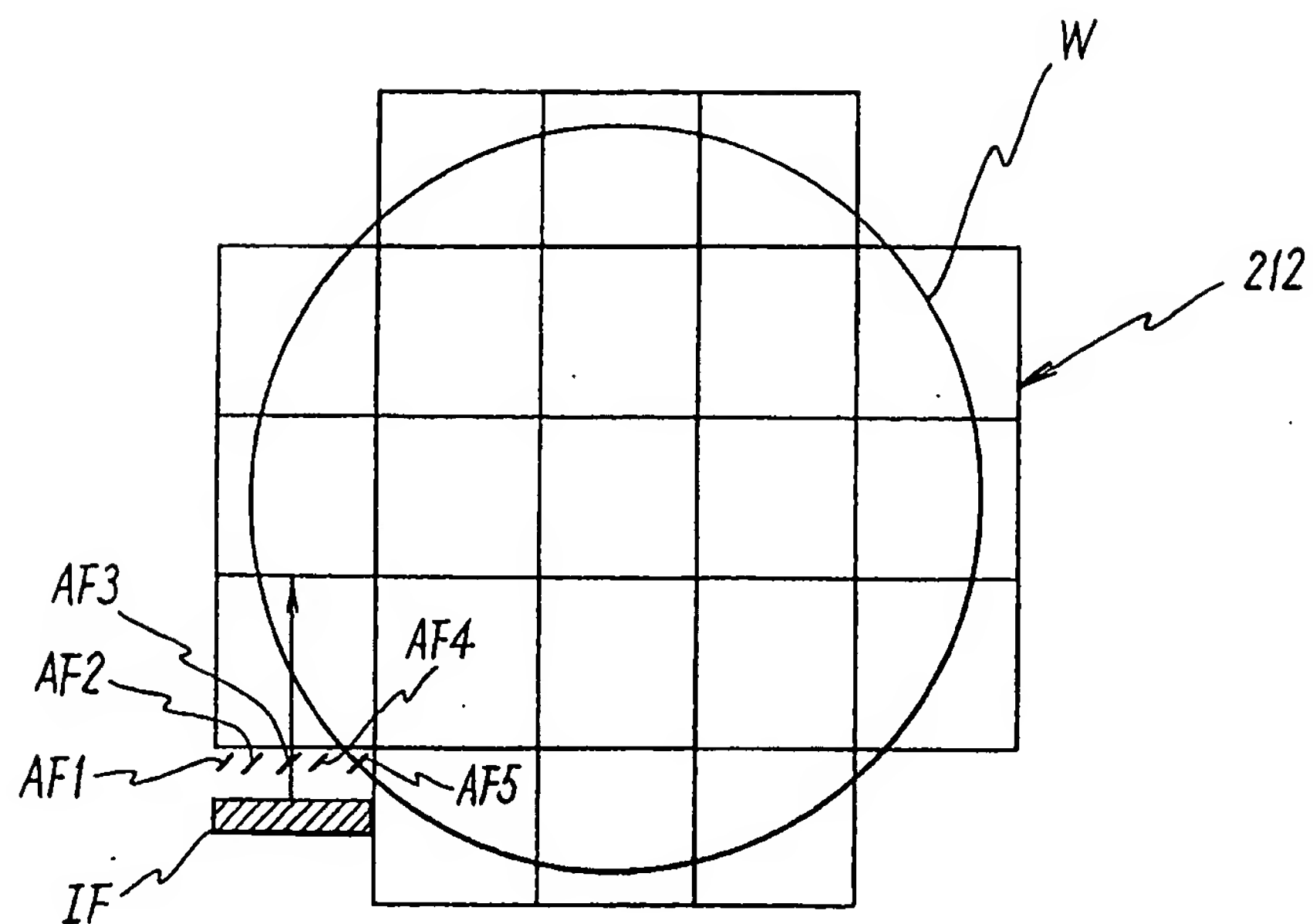
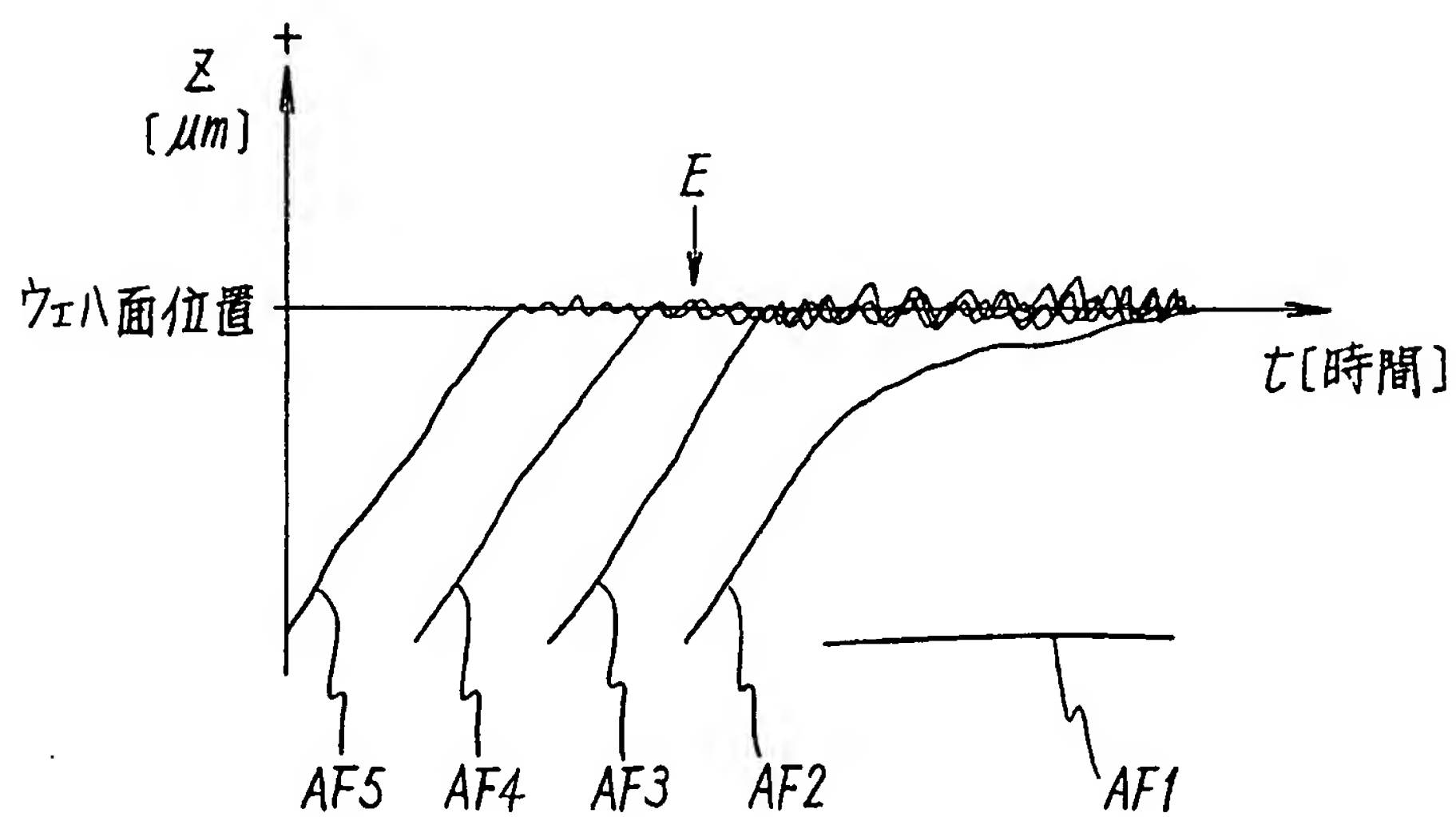


Fig. 43



33/37

Fig. 44

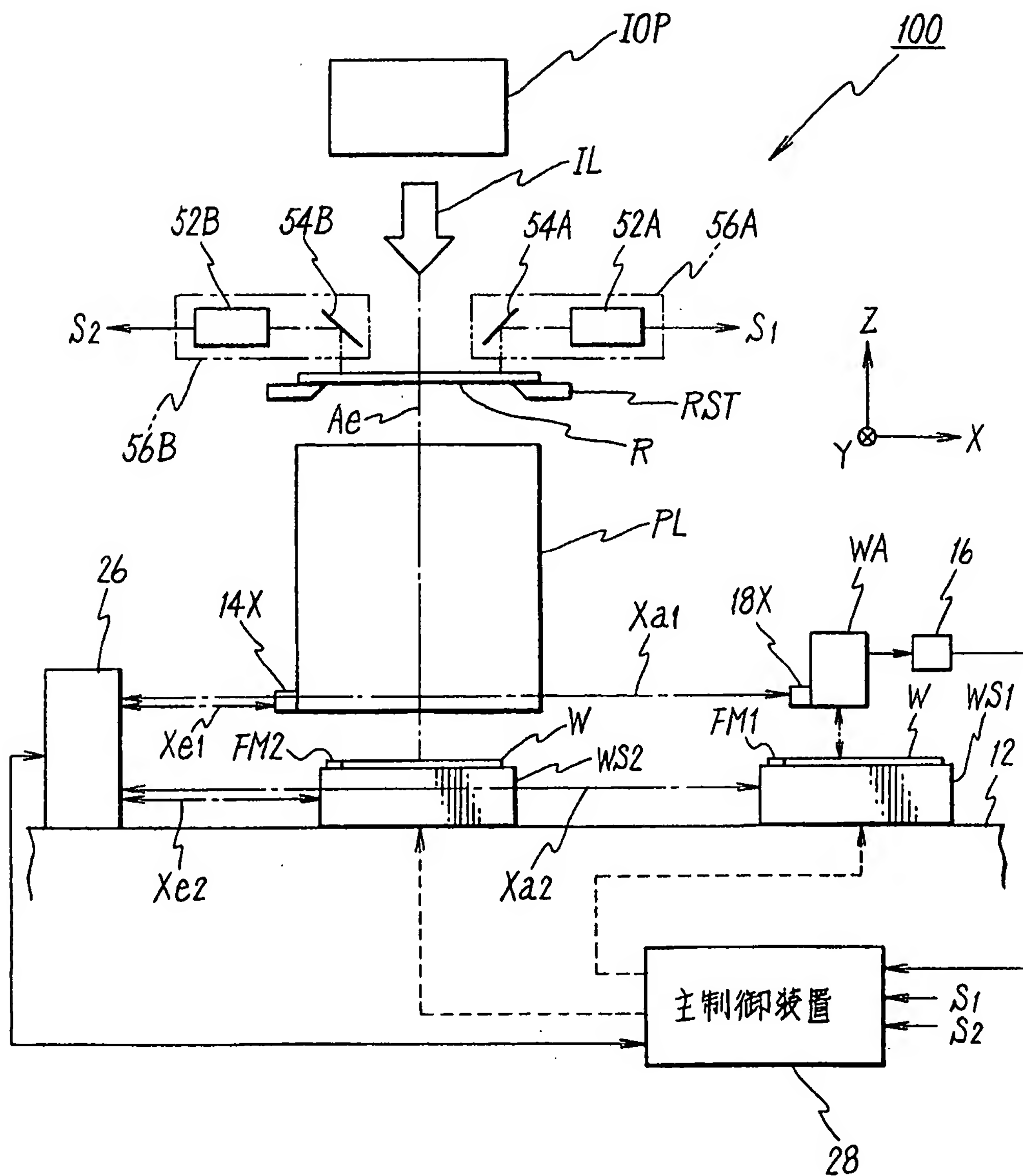
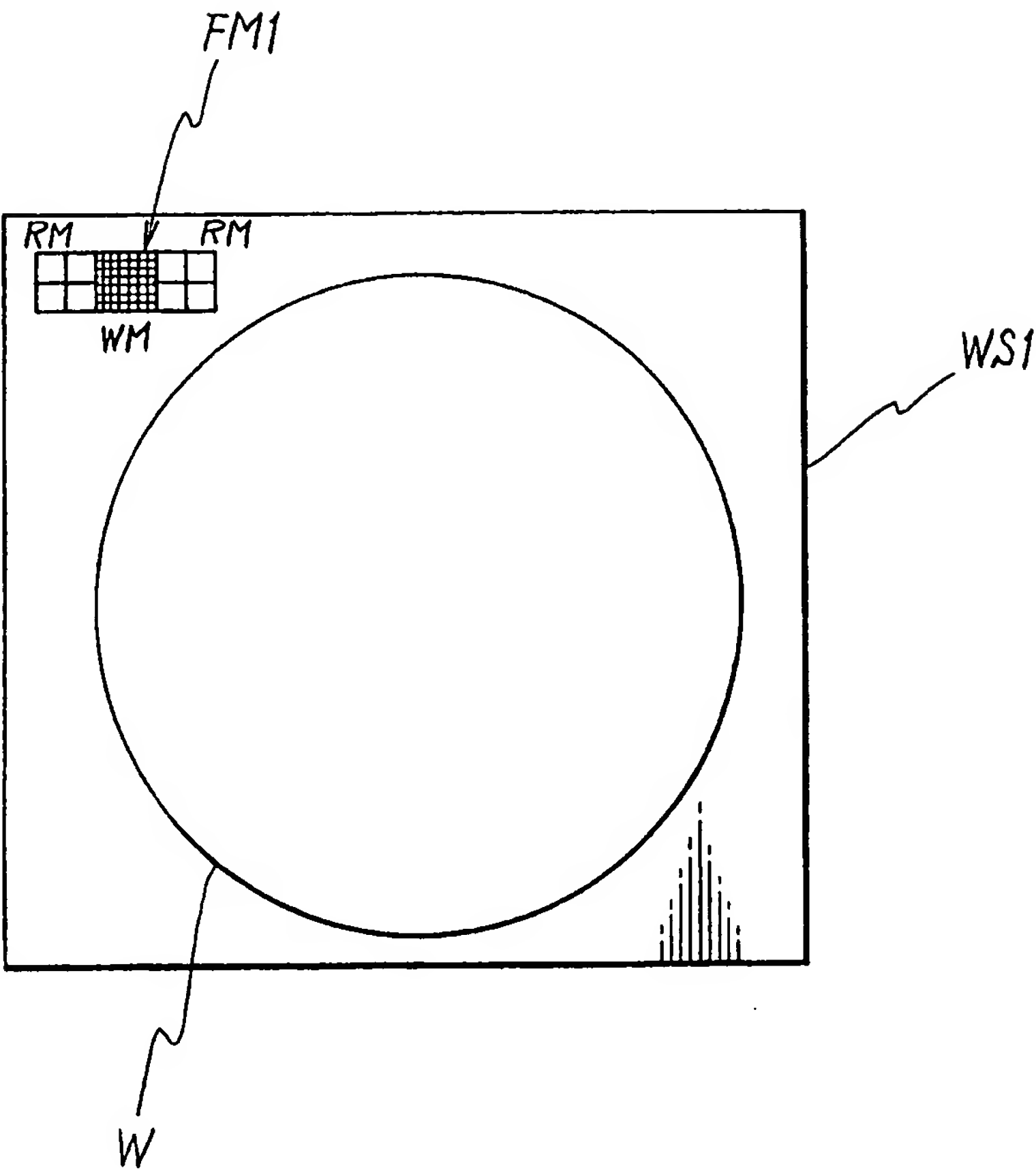


Fig. 45







36/37

Fig. 47

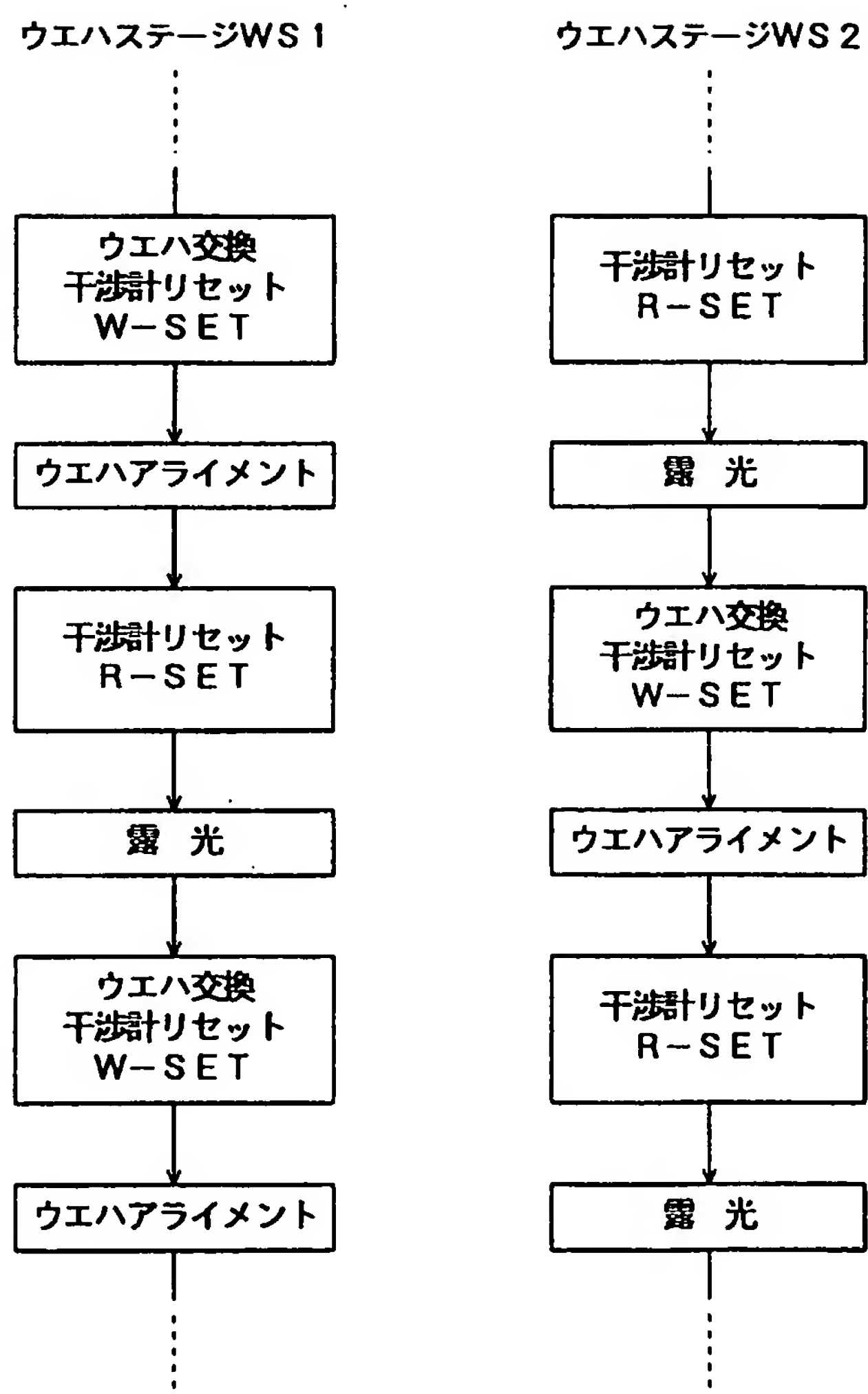
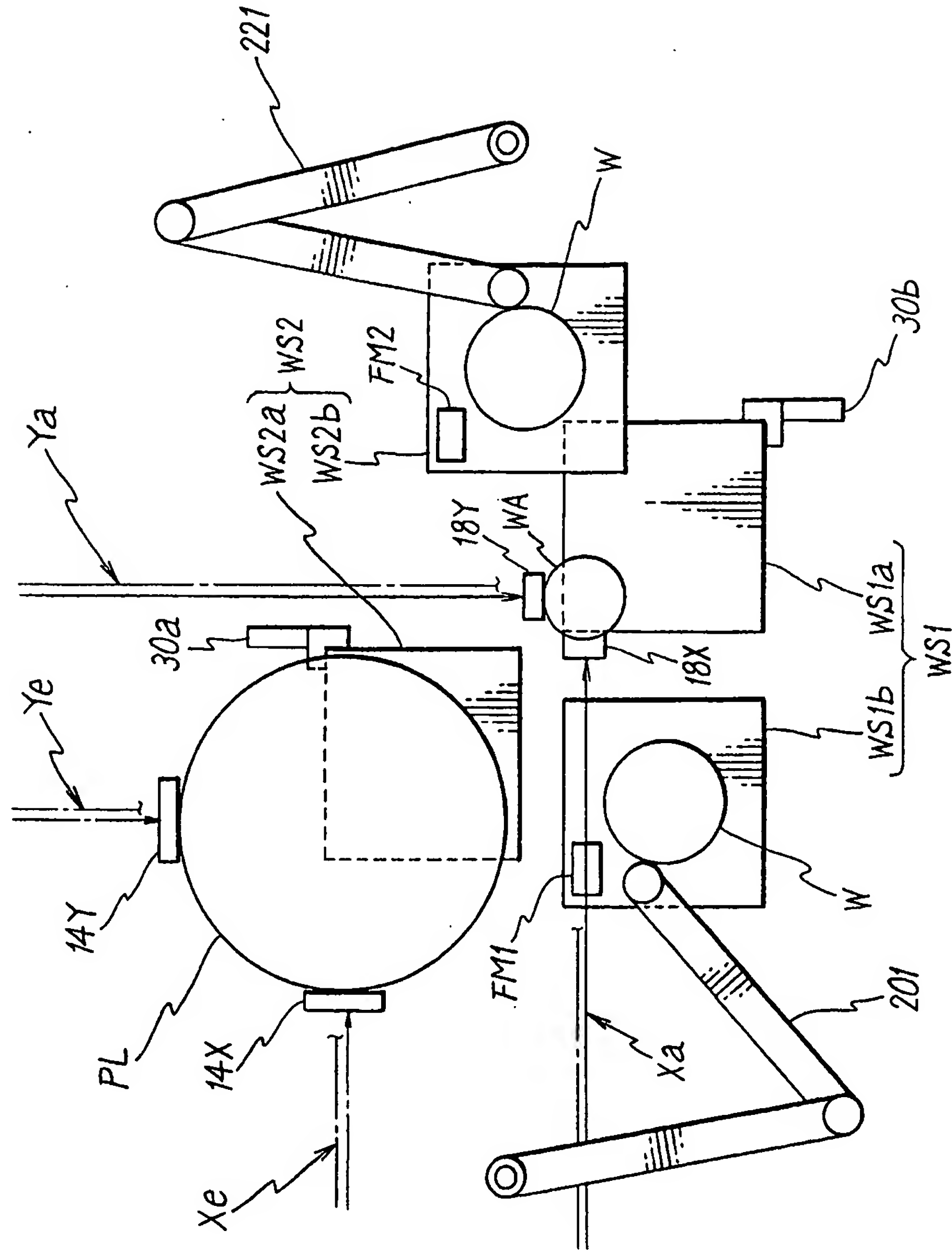


Fig. 48



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP97/04350

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int. Cl<sup>6</sup> H01L21/027, G03F7/20

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC.

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int. Cl<sup>6</sup> H01L21/027, G03F7/20

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1926 - 1997	Jitsuyo Shinan Toroku
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971 - 1997	Koho
Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994 - 1997	1996 - 1997

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP, 8-51069, A (International Business Machines Corp.), February 20, 1996 (20. 02. 96), Par. Nos. 0020, 0021; Fig. 1 & EP, 687957, A	1-5, 6-8, 9-10, 11, 12-13, 14-21 22-25, 26-28 29-38, 39, 40-42, 43-44 45-50, 51, 52-64
Y	JP, 5-175098, A (Nikon Corp.), July 13, 1993 (13. 07. 93), Claim 1; Par. No. 0016; Fig. 1 (Family: none)	1-5, 6-8, 9-10, 11, 12-13, 14-21, 22-25, 26-28, 29-38, 39, 40-42, 43-44, 45-50, 51, 52-64

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

\* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search  
February 24, 1998 (24. 02. 98)

Date of mailing of the international search report  
March 10, 1998 (10. 03. 98)

Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office  
Facsimile No.

Authorized officer  
  
Telephone No.

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP97/04350

## C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP, 6-283403, A (Nikon Corp.), October 7, 1994 (07. 10. 94), Par. Nos. 0048 to 0051; Figs. 2, 3 & US, 5448332, A & US, 5693439, A	65

国際調査報告		国際出願番号 PCT/J P 97/04350	
A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC)) Int. Cl <sup>9</sup> H01L21/027 G03F7/20			
B. 調査を行った分野 調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC)) Int Cl <sup>9</sup> H01L21/027 G03F7/20			
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの 日本国実用新案公報 1926-1997年 日本国公開実用新案公報 1971-1997年 日本国登録実用新案公報 1994-1997年 日本国実用新案登録公報 1996-1997年			
国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)			
C. 関連すると認められる文献			
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号	
Y	J P, 8-51069, A (インターナショナル・ビジネス・マシ ンズ・コーポレーション) 20. 2月. 1996 (20. 02. 96)、段落番号0020~0021、図1 & E P, 687957, A	1-5, 6-8, 9-1 0, 11, 12-13, 14-21, 22-25, 26-28, 29-38, 39, 40-42, 43-44, 45-50, 51, 52-64	
Y	J P, 5-175098, A (株式会社ニコン) 13. 7月. 19 93 (13. 07. 93)、クレーム1、段落番号0016、図1 (ファミリーなし)	1-5, 6-8, 9-1 0, 11, 12-13, 14-21, 22-25, 26-28, 29-38,	
<input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。			
* 引用文献のカテゴリー 「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの 「E」 先行文献ではあるが、国際出願日以後に公表されたもの 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す) 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願		の日の後に公表された文献 「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの 「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの 「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの 「&」 同一パテントファミリー文献	
国際調査を完了した日 24. 02. 98		国際調査報告の発送日 10.03.98	
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/J P) 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号		特許庁審査官 (権限のある職員) 國島 明弘 電話番号 03-3581-1101 内線 6884	

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	JP, 6-283403, A (株式会社ニコン) 07. 10月. 1 994 (07. 10. 94)、段落番号0048~0051, 第2 図、第3図 &US、5448332, A&US、5693439、A	39, 40-42, 43-44, 45-50, 51, 52-64  65



**(12) International Application Published Based On Patent Cooperation Treaty**  
**(19) World Intellectual Property Organization**  
**International Bureau**  
**(10) International Publication**  
**Number**  
**WO 98/24115 A1**  
**(43) International Publication Date:**  
**June 4, 1998 (04.06.98)**

---

<p>(51) International Patent Classification 6: H01L 21/027, G03F 7/20</p> <p>(21) International Application Number: <b>PCT/JP97/04350</b></p> <p>(22) International Application Date: November 28, 1997 (28.11.97)</p> <p>(30) Priority Rights Data:</p> <table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 60%;">Patent Application H8-332843</td> <td style="width: 40%;"></td> </tr> <tr> <td>November 28, 1996 (28.11.96)</td> <td>JP</td> </tr> <tr> <td>Patent Application H8-332845</td> <td></td> </tr> <tr> <td>November 28, 1996 (28.11.96)</td> <td>JP</td> </tr> <tr> <td>Patent Application H8-332844</td> <td></td> </tr> <tr> <td>November 28, 1996 (28.11.96)</td> <td>JP</td> </tr> <tr> <td>Patent Application H8-332846</td> <td></td> </tr> <tr> <td>November 28, 1996 (28.11.96)</td> <td>JP</td> </tr> <tr> <td>Patent Application H8-332847</td> <td></td> </tr> <tr> <td>November 28, 1996 (28.11.96)</td> <td>JP</td> </tr> </table> <p>(71) Applicant (For all designated countries with the exception of the U.S.): NIKON CORPORATION [JP/JP]; 3-2-3 Marunouchi, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8331 (JP)</p> <p>(72) Inventor; and</p> <p>(75) Inventor/Applicant (For the U.S. only): NISHII, Kenji [JP/JP]; OTA, Kazuya [JP/JP]; NIKON CORPORATION, 3-2-3 Marunouchi, Chiyoda-ku, Tokyo 100 (JP)</p>	Patent Application H8-332843		November 28, 1996 (28.11.96)	JP	Patent Application H8-332845		November 28, 1996 (28.11.96)	JP	Patent Application H8-332844		November 28, 1996 (28.11.96)	JP	Patent Application H8-332846		November 28, 1996 (28.11.96)	JP	Patent Application H8-332847		November 28, 1996 (28.11.96)	JP	<p>(74) Representative: KAWAKITA, Kijuro; Shinjuku MM Building, 5-1-15 Shinjuku, Shinjuku-ku, Tokyo 160-0022 (JP)</p> <p>(81) Designated Country (domestic): AL, AU, BA, BB, BG, BR, CA, CN, CU, CZ, EE, GE, GH, GM, HU, ID, IL, IS, KR, LC, LK, LR, LT, LV, MG, MK, MN, MX, NO, NZ, PL, RO, SG, SI, SK, SL, TR, TT, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZW, ARIPO patents (GH, KE, LS, MW, SD, SZ, UG, ZW), Eurasia patents (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), European patents (AT, BE, CH, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE), OAPI patents (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, ML, MR, NE, SN, TD, TG).</p> <p>Attached Published Documents: - INTERNATIONAL SEARCH REPORT</p>
Patent Application H8-332843																					
November 28, 1996 (28.11.96)	JP																				
Patent Application H8-332845																					
November 28, 1996 (28.11.96)	JP																				
Patent Application H8-332844																					
November 28, 1996 (28.11.96)	JP																				
Patent Application H8-332846																					
November 28, 1996 (28.11.96)	JP																				
Patent Application H8-332847																					
November 28, 1996 (28.11.96)	JP																				

---

**(54) Title: ALIGNER AND METHOD FOR EXPOSURE**

**(57) Abstract:** Two stages (WS1, WS2), each of which supports a wafer, can individually move between a positional information measuring section (PIS) below an alignment system (24a) and an exposure section (EPS) under a projection optical system (PL). While a wafer is replaced and aligned on the stage (WS1), a wafer (W2) is exposed on the stage (WS2). The position of a wafer (W1) in each shot region on the stage (WS1) is found, by the section (PIS), as a relative position to a reference mark formed on the stage (WS1). The information about the relative position is used for alignment in relation to an alignment pattern, when the stage (WS1) moves to the section (EPS) and the wafer (W1) is exposed. Therefore, the position of the stage need not be monitored continuously during movement. By parallel processing of exposures using the two wafer stages (WS1, WS2), a throughput can be increased.

## SPECIFICATION

### ALIGNER AND METHOD FOR EXPOSURE

#### Technical Field

The present invention relates to an exposure apparatus and an exposure method for exposing a sensitive substrate with a laser beam, an electron beam and other charged particle beams. In particular, the present invention relates to an exposure apparatus and an exposure method, which is used for producing semiconductor elements or liquid crystal display elements by means of the photolithography process, and which exposes the sensitive substrate by projecting a pattern formed on a mask via a projection optical system onto the sensitive substrate. Especially, the present invention relates to an exposure apparatus and an exposure method suitable for performing exposure and alignment of two substrates in parallel using two substrate stages.

#### Background Art

Various exposure apparatuses have been hitherto used, for example, when semiconductor elements or liquid crystal display elements are produced by means of the photolithography step. At present, a projection exposure apparatus is generally used, in which an image of a pattern formed on a photomask or reticle (hereinafter generally referred to as "reticle") is transferred via a projection optical system onto a substrate (hereinafter referred to as "sensitive substrate", if necessary) such as a wafer or a glass blade applied with a photosensitive material such as photoresist on its surface. In recent years, a reduction projection exposure apparatus (so-called stepper) based on the so-called step-and-repeat system is predominantly used as the projection exposure apparatus, in which a sensitive substrate is placed on a substrate stage which is movable two-dimensionally, and the sensitive substrate is moved in a stepwise manner (subjected to stepping) by using the substrate stage to repeat the operation for successively exposing respective shot areas on the sensitive substrate with the image of the pattern formed on the reticle.

Recently, a projection exposure apparatus based on the step-and-scan system (scanning type exposure apparatus as described, for example, in Japanese Laid-Open Patent Publication No. 7-176468, corresponding to U.S. Pat. No. 5,646,413), which is obtained by applying modification to the stationary type exposure apparatus such as the stepper, is also used frequently. The projection exposure apparatus based on the step-and-scan system has, for example, the following merits. That is, (1) the projection optical system is easily produced because a large field can be exposed by using a smaller optical system as compared with the stepper, and a high throughput

can be expected owing to the decrease in number of shots because a large field is exposed. Further, (2) an averaging effect is obtained owing to relative scanning for the reticle and the wafer with respect to the projection optical system, and thereby it is possible to expect improvement in distortion and depth of focus. Moreover, it is considered that the scanning type projection exposure apparatus will be predominantly used in place of the stepper, because a large field will become essential in accordance with the increase in the degree of integration of the semiconductor element, which is 16 M (mega) at present and will become 64 M for DRAM, 256 M, and 1 G (giga) in future as the progress proceeds along with times.

With this type of projection exposure apparatus, alignment between the reticle and the wafer needs to be performed highly precisely prior to exposure. To carry out this alignment, the wafer is provided with a position detecting mark (alignment mark) formed (or exposure transferred) by a previous photolithographic process. By detecting the position of this alignment mark, the exact position of the wafer (or a circuit pattern on the wafer) can be detected.

Alignment microscopes for detecting the alignment mark are roughly classified into the on-axis type for detecting the mark through a projection lens, and the off-axis type for detecting the mark without allowing the detecting light pass through a projection lens. With regard to a projection exposure apparatus with an excimer laser light source, which would be predominant in this field, an alignment microscope of the off-axis type is optimal. This is because the projection lens has been corrected for chromatic aberration due to exposure light, so that the on-axis type cannot condense alignment light, or if it could, an error due to chromatic aberration would be marked. An alignment microscope of the off-axis type, on the other hand, is provided separately from the projection lens; therefore, free optical design is possible without regard for such chromatic aberration, and various alignment systems can be used. For example, a phase contrast microscope or a differential interference microscope may also be used.

When the sensitive substrate is subjected to exposure by using the scanning type projection exposure apparatus, the so-called complete pre-measurement control method has been carried out as follows as described, for example, in Japanese Laid-Open Patent Publication No. 6-283403 corresponding to U.S. Pat. No. 5,448,332. That is, all detecting points included in one array provided on a front side in the scanning direction with respect to an exposure field are used as sample points. All values of focus positions at the sample points are previously measured before exposure, followed by the averaging process and the filtering process. The

autofocus and the autoleveling mechanisms are controlled in an open manner during the exposure in consideration of phase delay. Concurrently with the foregoing operation, an inclination in the non-scanning direction is determined by means of the least square approximation method from the measured values of the focus positions at the respective sample points in the one array described above to perform the leveling control in the non-scanning direction in accordance with the open control.

Such a projection exposure apparatus is principally used as a mass-production machine for semiconductor elements or the like. Therefore, the projection exposure apparatus necessarily required to have a processing ability that how many sheets of wafers can be subjected to the exposure process for a certain period of time. That is, it is necessarily required for the projection exposure apparatus to improve the throughput.

In this context, in the case of the projection exposure apparatus based on the step-and-scan system described above, when a large field is exposed, the improvement in throughput is expected because the number of shots to be exposed on the wafer is decreased as described above. However, since the exposure is performed during movement at a constant velocity in accordance with synchronized scanning for the reticle and the wafer, it is necessary to provide acceleration and deceleration areas before and after the constant velocity movement area. As a result, if a shot having a size equivalent to a shot size of the stepper is exposed, there is a possibility that the throughput is rather decreased as compared with the stepper.

The outline of the flow of the process in such a projection exposure apparatus is as follows.

(1) At first, a wafer load step is performed, in which a wafer is loaded on a wafer table by using a wafer loader.

(2) Next, a search alignment step is performed, in which the position of the wafer is roughly detected by using a search alignment mechanism. Specifically, the search alignment step is performed, for example, on the basis of the contour of the wafer, or by detecting a search alignment mark on the wafer.

(3) Next, a fine alignment step is performed, in which the position of each of the shot areas on the wafer is accurately determined. In general, the EGA (enhanced global alignment) system is used for the fine alignment step. In this system, a plurality of sample shots included in the wafer are selected beforehand, and positions of alignment marks (wafer marks) affixed to the sample shots are successively measured. Statistical calculation based on, for example, the so-called least square method is performed on the basis of results of the measurement and designed values

of the shot array to determine all shot array data on the wafer (see, for example, Japanese Laid-Open Patent Publication No. 61-44429 corresponding to U.S. Pat. No. 4,780,617). In this system, it is possible to determine the coordinate positions of the respective shot areas with high accuracy at a high throughput.

(4) Next, an exposure step is performed, in which the image of the pattern on the reticle is transferred onto the wafer via the projection optical system while successively positioning the respective shot areas on the wafer to be located at exposure positions on the basis of the coordinate positions of the respective shot areas having been determined in accordance with the EGA system or the like described above and the previously measured baseline amount.

(5) Next, a wafer unload step is performed, in which the wafer on the wafer table having been subjected to the exposure process is wafer-unloaded by using a wafer unloader. The wafer unload step is performed simultaneously with the wafer load step (1) described above in which the exposure process is performed. That is, a wafer exchange step is constructed by the steps (1) and (5).

As described above, in the conventional projection exposure apparatus, the roughly classified four operations are repeatedly performed by using one wafer stage, i.e., wafer exchange → search alignment → fine alignment → exposure → wafer exchange.

The throughput THOR [sheets/hour] of such a projection exposure apparatus can be represented by the following expression (1) assuming that the wafer exchange time is T1, the search alignment time is T2, the fine alignment time is T3, and the exposure time is T4.

$$\text{THOR} = 3600 / (T1 + T2 + T3 + T4) \dots (1)$$

The operations of T1 to T4 are executed repeatedly and successively (sequentially) as in  $T1 \rightarrow T2 \rightarrow T3 \rightarrow T4 \rightarrow T1 \dots$ . Accordingly, if the individual elements ranging from T1 to T4 involve high speeds, then the denominator is decreased, and the throughput THOR can be improved. However, as for T1 (wafer exchange time) and T2 (search alignment time), the effect of improvement is relatively small, because only one operation is performed for one sheet of wafer respectively. As for T3 (fine alignment time), the throughput can be improved if the sampling number of shots is decreased in the case of the use of the EGA system, or if the measurement time for a single shot is shortened. However, on the contrary, the alignment accuracy is deteriorated due to shortened T3. Therefore, it is impossible to easily shorten T3.



On the other hand, T4 (exposure time) includes the wafer exposure time and the stepping time for movement between the shots. For example, in the case of the scanning type projection exposure apparatus based on, for example, the step-and-scan system, it is necessary to increase the relative scanning velocity between the reticle and the wafer in an amount corresponding to the reduction of the wafer exposure time. However, it is not allowed to increase the scanning velocity without consideration because the synchronization accuracy is deteriorated.

With the apparatus using an off-axis alignment microscope, such as the projection exposure apparatus with the excimer laser light source which would be predominant in this field, it is not easy to improve the controllability of the stage. With this type of projection exposure apparatus, there is need to precisely control the position of the wafer stage, without Abbe's error, during exposure of the mask pattern through the projection optical system and during alignment, thereby to achieve highly precise superposition. For this purpose, it is necessary to set a constitution in which the measuring axis of the laser interferometer passes through the center of projection of the projection optical system and the center of detection of the alignment microscope. Furthermore, neither the measuring axis passing through the center of projection of the projection optical system nor the measuring axis passing through the center of detection of the alignment microscope should be interrupted in the moving range of the stage during exposure and in the moving range of the stage during alignment. To satisfy this requirement, the stage necessarily becomes large in size.

Important conditions for such a projection exposure apparatus other than those concerning the throughput described above include (1) the resolution, (2) the depth of focus (DOF), and (3) the line width control accuracy. Assuming that the exposure wavelength is  $\lambda$ , and the numerical aperture of the projection lens is N.A. (Numerical Aperture), the resolution R is proportional to  $\lambda/\text{N.A.}$ , and the depth of focus (DOF) is proportional to  $\lambda/(\text{N.A.})^2$ .

Therefore, in order to improve the resolution R (in order to decrease the value of R), it is necessary to decrease the exposure wavelength  $\lambda$ , or it is necessary to increase the numerical aperture N.A. Especially, in recent years, semiconductor elements or the like have developed to have high densities, and the device rule is not more than 0.2  $\mu\text{m}$  L/S (line and space). For this reason, a KrF excimer laser is used as an illumination light source in order to perform exposure for the pattern. However, as described above, the degree of integration of the semiconductor element will be necessarily increased in future. Accordingly, it is demanded to develop an apparatus provided with a light source having a wavelength shorter than that of KrF.

Representative candidates for the next generation apparatus provided with the light source having the shorter wavelength as described above include, for example, an apparatus having a light source of ArF excimer laser, and an electron beam exposure apparatus. However, the case of the ArF excimer laser involves numerous technical problems in that the light is scarcely transmitted through a place where oxygen exists, it is difficult to provide a high output, the service life of the laser is short, and the cost of the apparatus is expensive. The electron beam exposure apparatus is inconvenient in that the throughput is extremely low as compared with the light beam exposure apparatus. In reality, the development of the next generation machine, which is based on the principal viewpoint of the use of a short wavelength, does not proceed so well.

It is conceived to increase the numerical aperture N.A., as another method to increase the resolution R. However, if N.A. is increased, there is a demerit that DOF of the projection optical system is decreased. DOF can be roughly classified into UDOF (User Depth of Focus: a part to be used by user: for example, difference in level of pattern and resist thickness) and the overall focus difference of the apparatus itself. Up to now, UDOF has contributed to DOF in a greater degree. Therefore, the development of the exposure apparatus has been mainly directed to the policy to design those having a large DOF. Those practically used as the technique for increasing DOF include, for example, modified illumination.

By the way, in order to produce a device, it is necessary to form, on a wafer, a pattern obtained by combining, for example, L/S (line and space), isolated L (line), isolated S (space), and CH (contact hole). However, the exposure parameters for performing optimum exposure differ for every shape of the pattern such as L/S and isolated line described above. For this reason, a technique called ED-TREE (except for CH concerning a different reticle) has been hitherto used to determine, as a specification of the exposure apparatus, common exposure parameters (for example, coherence factor, sigma., N.A., exposure control accuracy, and reticle drawing accuracy) so that the resolution line width is within a predetermined allowable error with respect to a target value, and a predetermined DOF is obtained. However, it is considered that the following technical trend will appear in future.

(1) In accordance with the improvement in process technology (improvement in flatness on the wafer), the difference in pattern level will be progressively lowered, and the resist thickness will be progressively decreased. There will be a possibility that the UDOF may change from an order of  $1\ \mu\text{m}$   $\rightarrow$   $0.4\ \mu\text{m}$ .

(2) The exposure wavelength changes to be short, i.e., g-ray (436 nm)  $\rightarrow$  i-ray (365 nm)  $\rightarrow$  KrF (248 nm). However, investigation will be made for only a light



source based on ArF (193) in future. Further technical hurdle is high. Thereafter, the progress will proceed to EB exposure.

(3) It is expected that the scanning exposure such as those based on the step-and-scan system will be predominantly used for the stepper, in place of the stationary exposure such as those based on the step-and-repeat system. The step-and-scan system makes it possible to perform exposure for a large field by using a projection optical system having a small diameter (especially in the scanning direction), in which it is easy to realize high N.A. corresponding thereto.

In the background of the technical trend as described above, the double exposure method is reevaluated as a method for improving the limiting resolution. Trial and investigation are made such that the double exposure method will be used for KrF exposure apparatus and ArF exposure apparatus in future to perform exposure up to those having  $0.1\ \mu\text{m}$  L/S. In general, the double exposure method is roughly classified into the following three methods.

(1) L/S's and isolated lines having different exposure parameters are formed on different reticles, and exposure is performed for each of them on an identical wafer under an optimum exposure condition.

(2) For example, when the phase shift method is introduced, L/S has a higher resolution at an identical DOF as compared with the isolated line. By utilizing this fact, all patterns are formed with L/S's by using the first reticle, and L/S's are curtailed for the second reticle to form the isolated lines.

(3) In general, when the isolated line is used, a high resolution can be obtained with a small N.A. as compared with L/S (however, DOF is decreased). Accordingly, all patterns are formed with isolated lines, and the isolated lines, which are formed by using the first and second reticles respectively, are combined to form L/S's. The double exposure method described above has two effects of improvement in resolution and improvement in DOF.

However, in the double exposure method, the exposure process must be performed several times by using a plurality of reticles. Therefore, inconveniences arise in that the exposure time ( $T_4$ ) is not less than two-fold as compared with the conventional apparatus, and the throughput is greatly deteriorated. For this reason, actually, the double exposure method has not been investigated so earnestly. The improvement in resolution and depth of focus (DOF) has been hitherto made by means of, for example, the use of an ultraviolet exposure wavelength, modified illumination, and phase shift reticle.

However, when the double exposure method described above is used for the KrF and ArF exposure apparatuses, it is possible to realize exposure with up to 0.1  $\mu\text{m}$  L/S. Accordingly, it is doubtless that the double exposure method is a promising choice to develop the next generation machine aimed at mass-production of DRAM of 256 M and 1 G. Therefore, it has been expected to develop a new technique for improving the throughput which is a task of the double exposure method as a bottleneck for such a purpose.

In this context, if two or more operations of the four operations, i.e., the wafer exchange, the search alignment, the fine alignment, and the exposure operations can be concurrently processed in parallel, it may be possible to improve the throughput as compared with the case in which the four operations are sequentially performed. For this purpose, it is premised that a plurality of substrate stages are provided. The provision of a plurality of substrate stages is known, which may be considered to be easy from a theoretical viewpoint. However, there are numerous problems which should be solved in order to exhibit a sufficient effect. For example, if two substrate stages each having a size equivalent to those of presently used substrate stages are merely arranged and placed side by side, an inconvenience arises in that the installation area for the apparatus (so-called foot print) is remarkably increased, resulting in increase in cost of the clean room in which the exposure apparatus is placed. In order to realize highly accurate overlay, it is necessary to execute alignment for the sensitive substrate on an identical substrate stage, and then execute positional adjustment for the image of the pattern on the mask and the sensitive substrate by using a result of the alignment so that exposure is carried out. Therefore, for example, if one of the two substrate stages is merely exclusively used for exposure, and the other is merely exclusively used for alignment, there is no real countermeasure.

Further, there have been hitherto the following necessities. That is, when two operations are concurrently processed in parallel to one another while independently controlling movement of two substrate stages, then the movement should be controlled so that the both stages do not make contact with each other (prevention of interference), and the operation performed on one of the stages does not affect the operation performed on the other stage (prevention of disturbance).

Furthermore, in the case of the scanning type projection exposure apparatus, the order of exposure for respective shot areas on the wafer W is determined, for example, by respective parameters of (1) to (4), i.e., (1) acceleration and deceleration times during scanning, (2) adjustment time, (3) exposure time, and (4) stepping time to

adjacent shot. However, in general, the acceleration and the deceleration of the reticle stage give the rate-determining condition. Therefore, it is most efficient that scanning is alternately performed for the reticle stage from one side to the other side and from the other side to one side in the scanning direction, in synchronization with which scanning is alternately performed for the wafer in the direction opposite to that for the reticle stage (for this purpose, the wafer is subjected to stepping in an amount corresponding to one shot after exposure for one shot).

However, when the conventional complete pre-measurement control described above is performed (for example, Japanese Laid-Open Patent Publication No. 6-283403), it has been difficult to perform exposure in the aforementioned most efficient order of exposure. That is, when a shot area in the vicinity of the center of the wafer is exposed, the complete pre-measurement control can be performed without any special problem. However, in the case of shot areas existing in the vicinity of the outer circumference of the wafer, and in the case of incomplete shots existing on the outer circumference, it is sometimes difficult to perform the complete pre-measurement control depending on the scanning direction for such shot areas. In the present circumstances, it is inevitable to direct the scanning direction from the inside to the outside of the wafer in order to perform complete pre-measurement. For this reason, the throughput has been consequently lowered.

Japanese Laid-Open Patent Publication No. 8-51069, corresponding to U.S. patent application Ser. No. 261,630 filed on Jun. 17, 1994, discloses a step-and-repeat apparatus comprising a plurality of wafer stations each of which comprises a wafer position observing and tracking apparatus. The apparatus is provided, as the wafer station, with an image-forming station and a characteristic measuring station, and each station has a chuck for holding the wafer thereon. On the characteristic measuring station, an inclination and a depth of a field is determined for each field of the wafer. The image-forming station is provided with an image-forming lens, and the image is printed on each field of the wafer on which the characteristic has been measured in the measuring characteristic station. To measure the characteristic and to form an image in these stations are performed in parallel. This publication discloses that therefore the throughput of this apparatus can be doubled compared with a conventional stepper which performs the measurement of characteristic and the formation of image in order. However, in this type of apparatus, in order that the data concerning the wafer collected on the measuring characteristic station are kept effective and accurate even after the wafer has been transferred to the image-forming station, the wafer must be monitored continuously with an interferometer.

The present invention has been made under the circumstances as described above, and a first object of the invention is to provide a projection exposure apparatus which makes it possible to further improve the throughput.

A second object of the invention is to provide a projection exposure method which makes it possible to further improve the throughput.

A third object of the invention is to provide a projection exposure apparatus which makes it possible to improve the throughput by concurrently processing, for example, the exposure operation and the alignment operation in parallel to one another, miniaturize a substrate stage, and reduce the weight of the substrate stage.

A fourth object of the invention is to provide a projection exposure method which makes it possible to improve the throughput, miniaturize a stage, and reduce the weight of the stage.

A fifth object of the invention is to provide a projection exposure apparatus which makes it possible to further improve the throughput and avoid any mutual influence of disturbance between the both stages.

A sixth object of the invention is to provide a projection exposure apparatus which makes it possible to further improve the throughput and avoid any mutual interference between the both stages.

A seventh object of the invention is to provide a projection exposure method which makes it possible to further improve the throughput and avoid any mutual influence of disturbance between the both stages.

An eighth object of the invention is to provide a projection exposure method which makes it possible to further improve the throughput and avoid any mutual interference between the both stages.

A ninth object of the invention is to provide a projection exposure apparatus which makes it possible to perform highly accurate focus/leveling control while further improving the throughput.

A tenth object of the invention is to provide a projection exposure method which makes it possible to perform highly accurate focus/leveling control while further improving the throughput.

An eleventh object of the invention is to provide a projection exposure method which makes it possible to perform highly accurate focus/leveling control while further improving the throughput even when EGA is performed for conducting positional adjustment with respect to a mask on the basis of an arrangement of sample shot areas.

A twelfth object of the invention is to provide a projection exposure apparatus which makes it possible to perform highly accurate focus/leveling control while further improving the throughput, such that focus information concerning those disposed at the inside, which has been impossible to be subjected to pre-measurement when shot areas in the vicinity of outer circumference of a sensitive substrate are exposed, is used as pre-measurement data for focus control.

A thirteenth object of the invention is to provide a scanning exposure method which makes it possible to perform highly accurate focus/leveling control while further improving the throughput.

A fourteenth object of the invention is to provide an exposure method capable of improving throughput and determining the size of the substrate stage regardless of the baseline amount.

#### Summary of the Invention

If a plurality of actions among the aforementioned three actions, i.e., wafer replacement (including search alignment), fine alignment and exposure, can be performed in parallel even partially, throughput may be improved compared with the sequential execution of these actions. The present invention has been devised in this view and for overcoming the inconveniences of the conventional art.

According to the first aspect of the present invention, there is provided an exposure apparatus for exposing a plurality of areas (SA) divided on a sensitive substrate (W1, W2) respectively with a predetermined pattern, the exposure apparatus comprising; a plurality of stages (WS1, WS2), each holding a sensitive substrate (W1, W2) thereon, while moving independently between a positional information measuring section (PIS) in which positional information of the respective divided areas on the sensitive substrate are measured and an exposure section (EPS). The measurement of the positional information on the respective divided areas (shot areas (SA)) on the sensitive substrate is performed on the positional information measuring section (PIS), while the exposure of the respective divided areas is performed on the



exposure section (EPS). Since the measurement and the exposure are performed in parallel, the throughput is remarkably improved compared to a conventional exposure apparatus wherein the process steps in these sections are performed sequentially. In order for the inventive exposure apparatus to keep accurate the positional information, such as positions in a directions of X, Y and Z of each area, measured in the positional information measuring section, each stage (WS1, WS2) has a reference mark (MK1, MK2, MK3) for determining a relative position of each divided area (SA) on the sensitive substrate on the stage. The alignment of each divided area on the sensitive substrate is performed in the exposure section using the relative position of each divided area with respect to the reference mark measured in the positional information measuring section. Accordingly, it is sufficient for each of the position measuring system (such as interferometers) for measuring position of the stage positioned on the positional information measuring section and the position measuring system (such as interferometers) for measuring position of the stage positioned on the exposure section, to independently measure the stage position only in one section. It is not necessary for one of the position measuring systems to monitor the position of one stage during the movement of the stage between the two sections. Further, there is no need to transmit data between the position measuring systems.

The exposure apparatus further may comprise positional information detecting systems in the positional information measuring section and the exposing section, respectively. The positional information detecting systems may measure or determine the position of each divided area of the sensitive substrate with respect to the reference mark. When the exposure apparatus is a projection exposure apparatus, the positional information detecting system in the positional information measuring section may an alignment system (24a, 24b) and a detection system (130) for detecting the position of the surface of the sensitive substrate, and the positional information detecting system in the exposure section may be a detector (52a, 52b) for detecting the marks through the projection optical system. The exposure apparatus may further comprise a storing apparatus (91) for storing positional information of each divided area on the sensitive substrate which has been determined in the positional information measuring section.

According to the second aspect of the present invention, there is provided a projection exposure apparatus for exposing a sensitive substrate (W1, W2) by projecting a pattern formed on a mask (R) through a projection optical system (PL) onto the sensitive substrates, characterized by having: a first substrate stage (WS1) which is movable on a two-dimensional plane while holding a sensitive substrate (W1), the first substrate stage having a reference mark formed thereon; a second

substrate stage (WS2) which is movable independently from the first substrate stage (WS1) on the same plane as that for the first substrate stage (WS1) while holding a sensitive substrate (W2), the second substrate stage having a reference mark formed thereon; at least one mark detecting system (for example, 24a) provided apart from the projection optical system (PL), for detecting reference mark on the substrate stage (WS1, WS2) or a mark on the sensitive substrate (W1, W2) held on the substrate stage (WS1, WS2); and a controller (90) for controlling operations of the both stages (WS1, WS2) so that one of the first and second substrate stages (WS1 or WS2) performs a mark-detecting operation effected by the mark detecting system (24a), while the other stage (WS2 or WS1) performs an exposure operation.

According to the projection exposure apparatus, the controller controls the operations of the both stages (WS1, WS2) so that the one of the stages of the first substrate stage and the second substrate stage performs the mark-detecting operation effected by the mark detecting system, during which the exposure operation is performed on the other stage. Accordingly, the detecting operation for the mark on the sensitive substrate held on the one substrate stage can be processed concurrently with the exposure operation for the sensitive substrate held on the other substrate stage. Therefore, the operation corresponding to the time T2 and the time T3 explained above can be processed concurrently with the operation corresponding to the time T4. Thus, it is possible to improve the throughput as compared with the conventional sequential process which requires the time (T1+T2+T3+T4).

In this projection exposure apparatus, it is still more desirable that when the projection exposure apparatus further comprises a transport system (180 to 200) for delivering the sensitive substrate (W1, W2) with respect to the first and second substrate stages (WS1 and WS2), then the controller (90) controls the operations of the both stages (WS1, WS2) so that one of the substrate stages (WS1 or WS2) performs the delivery of the sensitive substrate with respect to the transport system (180 to 200) and the mark-detecting operation effected by the mark detecting system (24a), during which the other stage (WS2 or WS1) performs the exposure operation effected by the projection optical system (PL). In such an arrangement, the operation corresponding to the time T1, the time T2, and the time T3 explained above can be performed by the one substrate stage, and the operation corresponding to the time T4 can be performed by the other substrate stage. Accordingly, it is possible to further improve the throughput.

In the projection exposure apparatus, at least one mark detecting system such as alignment system may be provided separately from the projection optical system.



However, for example, when two mark detecting systems are provided separately from the projection optical system, it is also preferable, that the two mark detecting systems (24a, 24b) are arranged on both sides of the projection optical system (PL) along a predetermined direction; and the controller (90) is operated such that the reference mark on the first substrate stage (WS1) or the mark on the sensitive substrate (W1) held on the first substrate stage (WS1) is detected by using the one mark detecting system (24a), and the reference mark on the second substrate stage (WS2) or the mark on the sensitive substrate (W2) held on the second substrate stage (WS2) is detected by using the other mark detecting system (24b). In this embodiment as described above, the sensitive substrate on the one substrate stage may be exposed by using the projection optical system located at the center (exposure operation), during which the sensitive substrate on the other substrate stage may be subjected to the mark detection by using the one mark detecting system (alignment operation). When the exposure operation is changed to the mark detecting operation, then the one substrate stage having been located under the projection optical system can be easily moved to the position of the other mark detecting system, and the other substrate stage having been located at the position of the one mark detecting system can be easily moved to the position under the projection optical system, only by moving the two substrate stages along the predetermined direction toward the other mark detecting system. By doing so, it is possible to alternately use the two mark detecting systems.

According to the third aspect of the present invention, there is provided a projection exposure method for exposing a sensitive substrate (W1, W2) by projecting a pattern formed on a mask (R) through a projection optical system (PL) onto the sensitive substrates, characterized by: preparing two substrate stages (WS1, WS2) each of which is movable independently on a two-dimensional plane while holding a sensitive substrate (W1, W2); and performing, by using one stage (WS1 or WS2) of the two substrate stages (WS1, WS2), at least one of an exchange operation for the sensitive substrate and a detecting operation for a mark on the one stage or on the sensitive substrate held on the one stage, while executing an exposure operation for the sensitive substrate by using the other stage (WS2 or WS1) of the two substrate stages.

According to the projection exposure method, at least one of the operation corresponding to the time T1 and the operation corresponding to the time (T2+T3) explained above is performed on the one substrate stage, during which the operation corresponding to the time T4 is performed on the other substrate stage concurrently therewith. Accordingly, it is possible to improve the throughput as compared with

the conventional sequential process which requires the time ( $T1+T2+T3+T4$ ). Especially, when the operation corresponding to the time ( $T1+T2+T3$ ) is performed by the one stage, during which the operation corresponding to the time  $T4$  is performed by the other stage concurrently therewith, then it is possible to further improve the throughput.

In this aspect, the respective operations performed on the two substrate stage are not necessarily completed at the same time. However, it is also preferable that the operations of the two substrate stages are changed to one another at a point of time of completion of the operations of the two substrate stages. Accordingly, among the two stages, one stage, on which the operation is completed earlier, is subjected to a waiting mode, and the operations are changed to one another at the point of time of completion of the operation of the other stages. The waiting time may behave as a factor to lower the throughput. Therefore, it is desirable that the contents of the operations concurrently processed on the two substrate stages are divided so that the waiting time is decreased as short as possible.

According to the fourth aspect of the present invention, there is provided a method for exposing a sensitive substrate (W) by projecting a pattern formed on a mask (R) through a projection optical system (PL) onto the sensitive substrates, characterized by: preparing two substrate stages (WS1, WS2) independently movable in the same plane while each holding a sensitive substrate (W); exposing the sensitive substrate (W) held on one of the two substrate stages (WS1 or WS2) with the pattern image of the mask (R) through the projection optical system (PL); measuring the positional relation between an alignment mark on the sensitive substrate (W) held on the other of the two substrate stages (WS2 or WS1) and a reference point on the other stage (WS2 or WS1) during exposure of the sensitive substrate (W) held on the one substrate stage (WS1 or WS2); detecting the positional deviation of the reference point on the other substrate stage from a predetermined reference point in a projection area of the projection optical system and the coordinate position of the other substrate stage, with the reference point on the other substrate stage being positioned in the projection area, after completion of exposure of the sensitive substrate held on the one substrate stage; and controlling the movement of the other substrate stage on the basis of the detected positional relation, the detected positional deviation and the detected coordinate position to perform alignment between the sensitive substrate held on the other stage and the pattern image of the mask.

According to the projection exposure method, while the sensitive substrate (W) held on the one substrate stage (WS1 or WS2) of the two substrate stages (WS1,

WS2) is being exposed with the pattern image of the mask (R) through the projection optical system (PL), (1) the positional relation between the alignment mark on the sensitive substrate (W) held on the other substrate stage (WS2 or WS1) of the two substrate stages and the reference point on the other stage (WS2 or WS1) is measured. As noted from this, the exposure action on the one substrate stage side and the alignment action on the other substrate stage side (measurement of the positional relation between the alignment mark on the sensitive substrate held on the other substrate stage and the reference point on the other substrate stage) can be performed in parallel. Thus, throughput can be improved in comparison with conventional technologies by which these actions were performed sequentially.

After exposure of the sensitive substrate held on the one substrate stage, (2) the positional deviation of the reference point on the other substrate stage from the predetermined reference point in the projection area of the projection optical system (PL) and (3) the coordinate position of the other substrate stage at the time of detecting the positional deviation are detected, with the reference point on the other substrate stage (WS2 or WS1) being positioned in the projection area. Then, the movement of the other substrate stage (WS2 or WS1) is controlled on the basis of the detected positional relation 1, the detected positional deviation 2 and the detected coordinate position 3 to perform alignment between the sensitive substrate held on the other stage and the pattern image of the mask.

Thus, it presents no disadvantages whether the interferometer (or coordinate system) for managing the position of the substrate stage at the time of detecting the positional relation 1 between the predetermined reference point on the other substrate stage and the alignment mark on the sensitive substrate is the same as or different from the interferometer (or coordinate system) for managing the position of the stage during the detection of the positional deviation 2 and during the detection of the coordinate position of the substrate stage 3. Regardless of whether these two interferometers are different, the alignment of the pattern image of the mask with the sensitive substrate placed on the other substrate stage can be performed highly accurately. This means that there is no need to successively measure the positions of the stage by one interferometer during the alignment operation, the movement operation from an alignment position to the exposure position and the exposure operation.

Thus, when an off-axis alignment system (a detector for detecting an alignment mark is not directly below the projection optical system) is used as a mark detection system for detecting the alignment mark, for example, it becomes unnecessary to

measure the positional relation between the predetermined reference point in the projection area of the projection optical system (the center of projection of the pattern image of the mask) and the center of detection of the alignment system, that is, unnecessary to measure the baseline amount. As a result, whatever distance exists between the projection optical system and the alignment system produces no disadvantage. Thus, the size of the substrate stage can be design irrespective of the baseline amount. Even if the substrate stage becomes small in size or light in weight, no disadvantage will emerge, and mark position measurement and pattern projection by exposure through the projection optical system can be carried out for the entire surface of the sensitive substrate. In this case, no influence of changes in the baseline amount is exerted.

According to the fifth aspect of the present invention, there is provided a projection exposure apparatus for exposing a sensitive substrate (W) by projecting a pattern through a projection optical system (PL) onto the sensitive substrates, comprising: a first substrate stage (WS1), on which a reference mark is formed, moving in a two-dimensional plane while holding a sensitive substrate (W); a second substrate stage (WS2), on which a reference mark is formed, moving in the same plane in which the first substrate stage (WS1) moves independently of the first substrate stage (WS1) while holding a sensitive substrate (W); a mark detecting system (WA), provided apart from the projection optical system (PL), for detecting the reference mark on the substrate stage (WS1, WS2) or a mark on the sensitive substrate (W) held on the stage; an interferometer system (26) for measuring the two-dimensional positions of the first substrate stage and the second substrate stage; a moving device (201, 22) for moving each stage between a predetermined first position in a stage moving range during exposure during which the sensitive substrate held on the stage is exposed through the projection optical system, and a predetermined second position in a stage moving range during mark detecting during which the mark on the stage or the mark on the sensitive substrate held on the stage is detected by the mark-detecting system; and a controller (28) for controlling the actions of the first substrate stage and the second substrate stage while monitoring the measured values of the interferometer system (26) so that during exposure of the sensitive substrate held on one of the first substrate stage and the second substrate stage, a mark detecting action by the mark detecting system (WA) is performed on the other of the first substrate stage and the second substrate stage, and then controlling the moving device (201, 22) to interchange the positions of the one substrate stage and the other substrate stage.



According to the above constitution, the controller (28) controls the actions of the two stages while monitoring the measured values of the interferometer system (26) so that during exposure of the sensitive substrate held on one stage of the two stages, a mark detecting action by the mark detecting system (for example, an alignment system) (WA) is performed on the other stage, and then controls the moving device(201, 221) to interchange the position of the one stage with the position of the other stage. This parallel execution of the exposure action on the one stage side and the alignment action on the other stage side enables throughput to be improved. Also, if the sensitive substrate is replaced on the substrate stage at the second position after interchange of the positions, actions of the two stages are interchanged, whereby during exposure of the sensitive substrate held on the other stage, a mark detecting action by the mark detecting system (for example, the alignment system) (WA) can be performed on the one stage.

According to the projection exposure apparatus, the interferometer system (26) may have the first measuring axis ( $X_e$ ) and the second measuring axis ( $Y_e$ ) intersecting each other perpendicularly at the center of projection of the projection optical system (PL), and the third measuring axis ( $X_a$ ) and the fourth measuring axis ( $Y_a$ ) intersecting each other perpendicularly at the center of detection of the mark detecting system (WA). It is desirable that the controller (28) resets the measuring axes ( $X_e$ ,  $Y_e$ ,  $X_a$ ,  $Y_a$ ) of the interferometer system (26) in interchanging the positions of the one stage and the other stage. By means of constituting the interferometer system and the controller in this manner, since the interferometer system (26) has the first measuring axis ( $X_e$ ) and the second measuring axis ( $Y_e$ ) intersecting each other perpendicularly at the center of projection of the projection optical system (PL), and the third measuring axis ( $X_a$ ) and the fourth measuring axis ( $Y_a$ ) intersecting each other perpendicularly at the center of detection of the mark detecting system (alignment system) (WA), the positions of the substrate stages (WS1, WS2) can be managed precisely without Abbe's error both during exposure of the sensitive substrate with the pattern through the projection optical system and during detection of the position detecting mark by the mark detecting system. Furthermore, the controller (28) resets the measuring axes ( $X_e$ ,  $Y_e$ ,  $X_a$ ,  $Y_a$ ) of the interferometer system (26) in interchanging the positions of the one stage and the other stage. During position interchange, the measuring axes of the interferometer system that has managed the positions of the substrate stages until then may be interrupted. Even in this case, it suffices to predetermine the positions at which to reset the measuring axes ( $X_e$ ,  $Y_e$ ,  $X_a$ ,  $Y_a$ ) of the interferometer system (26). After resetting, the positions of the first and second substrate stages can be managed using the measured values of the reset measuring axes.

According to the sixth aspect of the present invention, there is provided an exposure apparatus for exposing a sensitive substrates (W) by projecting a pattern on the sensitive substrate through a projection optical system (PL) comprising: a first substrate stage (WS1), on which a reference mark is formed, for moving in a two-dimensional plane while holding a sensitive substrate (W); a second substrate stage (WS2), on which a reference mark is formed, for moving in the same plane in which the first substrate stage (WS1) independently of the first substrate stage while holding a sensitive substrate (W); a mark detecting system (WA) provided apart from the projection optical system (PL), for detecting the reference mark formed on the substrate stage or an alignment mark on the sensitive substrate held on the stage; an interferometer system (26) for measuring the two-dimensional positions of the first substrate stage and the second substrate stage; a moving device (201, 221) for moving each stage among three locations, i.e., a predetermined first position in a stage moving range during exposure during which the sensitive substrate (W) held on the stage is exposed through the projection optical system (PL), a predetermined second position in a stage moving range during alignment during which the mark on the stage or the mark on the sensitive substrate held on the stage is detected by the mark detecting system (WA), and a third position at which the sensitive substrate is passed on between the stage and an external substrate carrier mechanism; and a controller (28) for controlling the first and second substrate stages (WS1, WS2) and the moving device (201, 221) so that while the position of one of the first (WS1) and second (WS2) substrate stages is being managed by the interferometer system (26) and the sensitive substrate (W) held on the one stage is being exposed with the pattern through the projection optical system (PL), the replacement of the sensitive substrate (W), and an alignment action for measuring the positional relation between the alignment mark on the sensitive substrate (W) and a reference mark on the other stage based on the results of detection by the mark detecting system (WA) and the measured values by the interferometer system (26) are sequentially performed on the other of the first and second substrate stages; and for controlling the two stages and the moving device so that after the actions on the two stages are both completed, the actions to be performed on the two stages are interchanged.

According to the exposure apparatus, the controller controls the two substrate stages (WS1, WS2) and the moving device (201, 221) so that while the position of the one substrate stage is being managed by the interferometer system and the sensitive substrate held on the one substrate stage is being exposed with the pattern through the projection optical system, the replacement of the sensitive substrate (W), and an alignment action for measuring the positional relation between the alignment mark on

the sensitive substrate (W) after replacement and the reference mark on the other stage based on the detection results of the mark detecting system (WA) and the measured values by the interferometer system (26) are sequentially performed on the other substrate stage. Since the exposure action on the one substrate stage side and the replacement of the sensitive substrate as well as the alignment action on the other stage side are thus performed in parallel, throughput can be further improved. In this case, the sensitive substrate is replaced at the third position different from the first or second position. Since this position of replacement is different from the positions of the mark detecting system (for example, an alignment system) and the projection optical system, the disadvantage that the mark detecting system and the projection optical system impede the replacement of the sensitive substrate does not occur.

The controller also controls the two stages and the moving device so that after the actions of the two stages are both completed, the actions to be performed on the two stages are interchanged. Thus, after completion of the actions on the two stages, the Sensitive substrate held on the other stage is exposed successively, and during this exposure, the mark detecting action by the mark detecting system (WA) can be performed on the one stage in parallel.

In this case, an electronic lens barrel, for example, may be used as the projection optical system, and the pattern may be directly drawn on the sensitive substrate with an electron beam. However, a mask (R) with the pattern formed thereon may be further provided, and the pattern image formed on the mask (R) via the projection optical system (PL) may be projected onto the sensitive substrates (W) on the first substrate stage (WS1) and the second substrate stage (WS2).

In the exposure apparatus of the invention, it is desirable that the interferometer system (26) has a first measuring axis (Xe) and a second measuring axis (Ye) intersecting each other perpendicularly at the center of projection of the projection optical system (PL), and a third measuring axis (Xa) and a fourth measuring axis (Ya) intersecting each other perpendicularly at the center of detection of the mark detecting system (WA), and the controller (28) resets the first and second measuring axes (Xe and Ye) of the interferometer system (26) in moving each of the two stages (WS1, WS2) to the first position, and resets the third and fourth measuring axes (Xa and Ya) of the interferometer system (26) in moving each of the two stages (WS1, WS2) to the second position. By means of constituting the interferometer and the controller, since the interferometer system (26) has the first measuring axis (Xe) and the second measuring axis (Ye) intersecting each other perpendicularly at the center of projection of the projection optical system (PL), and the third measuring axis (Xa) and the fourth



measuring axis (Ya) intersecting each other perpendicularly at the center of detection of the mark detecting system (WA), the positions of the substrate stages (WS1, WS2) can be managed precisely without Abbe's error both during exposure of the sensitive substrate with the pattern through the projection optical system and during detection of the position detecting mark by the mark detecting system. Furthermore, the controller (28) resets the first and second measuring axes (Xe and Ye) of the interferometer system (26) in moving each of the two stages (WS1, WS2) to the first position, and resets the third and fourth measuring axes (Xa and Ya) of the interferometer system (26) in moving each of the two stages (WS1, WS2) to the second position. Thus, prior to the start of exposure and the start of aligning measurement for each substrate stage, it is possible to reset the measuring axes that are required for the respective actions. Until then, the measuring axes of the interferometer system that has managed the positions of the respective substrate stages may be interrupted. After resetting, however, the positions of the two stages at the time of exposure and alignment can be managed using the measured values of the reset measuring axes.

In the exposure apparatus of the invention, it is desirable to further provide mark position detector (52A, 52B) for detecting the relative positional relation between the center of projection of the pattern image of the mask (R) formed by the projection optical system and the reference mark on the stage via the mask (R) and the projection optical system (PL). By so doing, the positional relation between the center of projection of the pattern image of the mask (R) and the reference mark on the substrate stage can be detected by the mark position detector (52A, 52B) via the mask (R) and the projection optical system (PL) when the substrate stages (WS1, WS2) are positioned at a position at which the positional relation between the predetermined reference mark on the substrate stage (18) and the center of projection of the mask pattern image can be detected in the projection area of the projection optical system (PL). In this case, it is desirable that the position at which the positional relation between the predetermined reference mark on the substrate stage (18) and the center of projection of the mask pattern image can be detected in the projection area of the projection optical system (PL) be set as the first position, and the first and second measuring axes be reset at this position.

In the exposure apparatus, each of the substrate stages (WS1, WS2) may have a stage body (WS1a, WS2a), and a substrate holding member (WS1b, WS2b) detachably mounted on the body (WS1a, WS2a) for holding the substrate, a reflecting surface for an interferometer may be provided on the side surface of the substrate holding member (WS1b, WS2b), and a reference mark (WM, RM) may be formed on

the upper surface of the substrate holding member. When the exposure apparatus has such constitutions, the moving device (201, 221) may move the substrate holding member among the respective locations mentioned earlier instead of the substrate stage.

In the above cases, the moving device may be of any type which moves the substrate stage or the substrate holding member among the three locations, i.e., the first position, the second position and the third position (or between the first and second positions), without monitoring the measured values by the interferometer. For instance, the moving device may be composed of a robot arm (201, 221).

In the exposure apparatus, a fixed mirror serving as a reference for measurement by the interferometer may be located at any place. Fixed mirrors (14X, 14Y; 18X, 18Y) serving as a reference for measurement by the interferometer may be attached to the projection optical system (PL) and the mark detecting system (WA), respectively. In this case, compared with the fixed mirrors existing at other places, an error minimally occurs in the results of measurement under the influence of positional changes of the fixed mirrors over time or the influence of positional changes of the fixed mirrors associated with vibrations of the apparatus.

In the exposure apparatus, only two stages, the first substrate stage and the second substrate stage, are provided. However, at least one other substrate stage movable independently of the two substrate stages in the same plane as for these stages while holding a sensitive substrate may be further provided in addition to the first substrate stage (WS1) and the second substrate stage (WS2).

According to the seventh aspect of the present invention, there is provided a projection exposure apparatus for exposing a plurality of shot areas divided on a sensitive substrate (W1, W2) by projecting an image of a pattern formed on a mask (R) via a projection optical system (PL) onto each of the shot areas, characterized by comprising: a first substrate stage (WS1) which is movable on a two-dimensional plane while holding a sensitive substrate (W1); a second substrate stage (WS2) which is movable independently from the first substrate stage (WS1) on the same plane as that for the first substrate stage (WS1) while holding a sensitive substrate (W2); a positional information detecting system (for example, 24a, 130) for detecting the positional information of at least one shot area of the sensitive substrate (W1 or W2) held on the substrate stage (WS1 or WS2) provided apart from the projection optical system (PL); substrate-driving systems (LS) provided for the first substrate stage (WS1) and the second substrate stage (WS2) respectively, for adjusting surface

positions of the sensitive substrates (W1 or W2) held on the stages (WS1 or WS2); and a controller (90) for controlling the two stages (WS1, WS2) so that a positional information detecting operation based on the use of the positional information detecting system (24a, 130) is performed for one stage (for example, WS1) of the first substrate stage (WS1) and the second substrate stage (WS2), during which an exposure operation based on the use of the projection optical system (PL) is performed for the other of the stages (for example WS2), thereafter controlling one of the stages (WS1) so that the exposure operation based on the use of the projection optical system (PL) is performed for the one of the stages (WS1), and controlling the substrate-driving system (LS1) for the one of the stages (WS1) to perform an alignment of the shot area in exposure, using information on a surface position of the shot area resulted from the positional information detection.

According to the exposure apparatus, the two stages are controlled by the controller so that the detection of positional information based on the use of the positional information detecting system is performed for one of the stages of the first substrate stage and the second substrate stage, during which the exposure operation is performed by using the projection optical system for the other of the stages. Accordingly, the mark-measuring operation for the one of the stages is processed concurrently in parallel to the exposure operation for the other of the stages. Thus, it is possible to contemplate improvement in throughput as compared with the conventional technique in which these operations have been sequentially performed. Further, after completion of the concurrent process of the mark-measuring operation for one of the stages and the exposure operation for the other stage, the controller controls the one of the stages so that the exposure operation based on the use of the projection optical system is performed for the one of the stages, and the controller controls the substrate-driving system for the one of the stages on the basis of the detection result obtained by using information of the surface position of the shot area during the detection of the positional information for the one of the stages. Accordingly, during the exposure operation for the one of the stages, the substrate-driving system for the one of the stages is controlled using the surface position (Z-directional position) obtained during the detection of the positional information so that the surface position of the sensitive substrate can be quickly driven into a position near to the image formation plane of the projection optical system.

In the exposure apparatus, the positional information detecting system may comprise at least one alignment system (24a) for measuring a mark on the sensitive substrate held on the substrate stage and a first detecting system (130) for detecting

positional information of a surface of the sensitive substrate during measurement operation of the mark based on the use of the alignment system. Further, the positional information detecting system may be provided with a second detecting system (132) for detecting positional information of a surface of the sensitive substrate during exposure operation based on the use of the projection optical system. The controller (90) may control the two stages so that the detection by using the positional information detecting system for one of the stages of the first substrate stage and the second substrate stage is performed, during which the exposure operation based on the use of the projection optical system is performed for the other of the stages. After that, the controller may control the one of the stages so that the exposure operation based on the use of the projection optical system is performed for the one of the stages. And also, the controller may control the substrate-driving system (LS) for the one stage on the basis of the detection result obtained by using the first detecting system during the mark-measuring operation for the one stage and the detection result obtained by using the second detecting system during the exposure operation for the one stage to perform an alignment in the exposure of the shot area. The substrate-driving system can be further adjusted finely on the basis of the detection result obtained by using the second detecting system so that the surface of the sensitive substrate coincides with the image formation plane. Therefore, it is possible to perform quick and highly accurate focus/leveling control.

It is desirable that the projection exposure apparatus is a scanning type projection exposure apparatus (for example, a step-and-scan type exposure apparatus) for exposing sensitive substrates with an image of a pattern formed on a mask (R) by moving the sensitive substrate in a scanning direction with respect to an exposure area (IF) which is conjugate to an illumination area (IA) illuminated with an illumination light beam, in synchronization with movement of the mask in the scanning direction with respect to the illumination area. In this case, the controller (90) controls the two stages so that the detection by using the positional information detecting system for one stage of the first substrate stage and the second substrate stage is performed, during which the exposure operation based on the use of the projection optical system is performed for the other of the stages. After that, when the one stage is controlled so that the exposure operation based on the use of the projection optical system is performed for the one stage, upon exposure for shot areas in the vicinity of outer circumference which are set to be subjected to scanning from the outside to the inside of the sensitive substrate with respect to the exposure area (IF), of a plurality of shot areas on the sensitive substrate held on the one of the stages, the controller may control the substrate-driving system (LS) on the basis of a detection result obtained by using the first detecting system (130) during detecting the positional information of



the one stage (WS1) and a detection result obtained by using the second detecting system (132) during the exposure operation for the one stage. And, the controller may control the substrate-driving system (LS) for the one stage by using only the detection result obtained by using the second detecting system (132) upon exposure for the other shot areas than the shot areas in the vicinity of outer circumstance to perform an alignment in the exposure of the shot area. In this case, when the shot areas in the vicinity of the outer circumference, which are set to be subjected to scanning from the outside to the inside of the sensitive substrate, concerning the exposure area for which information on the surface position of the sensitive substrate during exposure for the previous shot is not obtained, are exposed during the exposure operation for the one stage, the substrate-driving system for the one stage can be controlled on the basis of the detection result obtained by using the first detecting system during the mark-measuring operation for the one stage to drive the surface position of the sensitive substrate into the position near to the image formation plane of the projection optical system. Further, the substrate-driving system can be further adjusted finely on the basis of the detection result obtained by using the second detecting system so that the surface of the sensitive substrate coincides with the image formation plane. On the contrary, upon exposure for shot areas other than the above, for which information on the surface position of the sensitive substrate during exposure for the previous shot is obtained, the substrate-driving system for the one stage is controlled on the basis of the information on the surface position of the sensitive substrate during exposure for the previous shot prior to the start of exposure for the exposure-objective shot area so that the surface position of the sensitive substrate is quickly driven into the position near to the image formation plane of the projection optical system, followed by performing the adjustment for the surface position ("focus/leveling" adjustment) of the sensitive substrate by using only the detection result obtained by using the second detecting system during exposure. Therefore, it is possible to perform quick and highly accurate focus/leveling control in any exposure of shot area.

According to the eighth aspect of the present invention, there is provided a projection exposure method for exposing sensitive substrates (W1 or W2) with an image of a pattern formed on a mask (R) via a projection optical system (PL), comprising the steps of: preparing two substrate stages (WS1, WS2) which is movable independently on an identical two-dimensional plane while each holding a sensitive substrate (W1 or W2); measuring positional information of at least one shot area on the sensitive substrate (for example, W1) held on one stage (for example, WS1) of the two stages (WS1, WS2); exposing the sensitive substrate (W2) held on the other stage (WS2) of the two stages (WS1, WS2) with the image of the pattern formed on the

mask (R) during the period in which the measuring operation for the positional information is performed for the one of the stages (WS1); and exposing the sensitive substrate held on the one of the stages (WS1), after completion of the exposure operation performed for the other of the stages (WS2), while adjusting a surface position of the sensitive substrate (W1) held on the one of the stages (WS1) on the basis of the measured positional information.

According to the exposing method, for example, in one stage, the mark-measuring operation for an alignment mark of sensitive substrate and detection of positional information such as the relative position with respect to the predetermined reference plane of the sensitive substrate are performed for one stage of the two stages, during which, in parallel thereto, the sensitive substrate held on the other stage of the two stages is exposed with the image of the pattern on the mask. Accordingly, owing to the concurrent and parallel process of the mark-measuring operation for the one stage and the exposure operation for the other stage, it is possible to contemplate improvement in throughput as compared with the conventional technique in which these operations have been performed in a sequential manner. After completion of the exposure operation for the other stage, namely after completion of the concurrent operations on the two stages, the sensitive substrate held on the one stage is subjected to exposure. During the exposure, the surface position of the sensitive substrate held on the one stage is adjusted using information on the surface position of the shot area of the sensitive substrate held on the one stage detected previously, with respect to the predetermined reference plane. Accordingly, during the exposure operation effected for the one stage, the surface position of the sensitive substrate held on the one stage can be quickly driven into a position near to the image formation plane of the projection optical system on the basis of the information on the surface position previously detected. Therefore, it is possible to perform quick and highly accurate focus/leveling control.

According to the ninth aspect of the present invention, there is provided a projection exposure apparatus for exposing a sensitive substrate (W1, W2) by projecting an image of a pattern formed on a mask (R) via a projection optical system (PL) onto the sensitive substrates, characterized by comprising: a first substrate stage (WS1) on which a reference mark is formed, for moving in a two-dimensional plane while holding a sensitive substrate (W1); a second substrate stage (WS2) on which a reference mark is formed, for moving in the same plane as for the first substrate stage (WS1) independently of the first substrate stage (WS1) while holding a sensitive substrate (W2); at least one a mark detecting system (24a) provided apart from the projection optical system (PL), for detecting the reference mark on the substrate stage

(WS1, WS2) or an alignment mark-on the sensitive substrate (W1, W2) held on the substrate stage (WS1, WS2); and an interferometer system provided with a first length-measuring axis (BI1X) for measuring a position of the first substrate stage (WS1) in a direction of a first axis from one side in the direction of the first axis passing through a projection center of the projection optical system (PL) and a detection center of the mark detecting system (24a), a second length-measuring axis (BI2X) for measuring a position of the second substrate stage (WS2) in the direction of the first axis from the other side in the direction of the first axis, a third length-measuring axis (BI3Y) which perpendicularly intersects the first axis at the projection center of the projection optical system (PL), and a fourth length-measuring axis (BI4Y) which perpendicularly intersects the first axis at the detection center of the mark detecting system (24a), the interferometer system measuring two-dimensional positions of the first and second substrate stages (WS1 and WS2) respectively by using the length-measuring axes (BI1X to BI4Y).

According to the projection exposure apparatus, the sensitive substrates are held on the first and second substrate stages respectively to be independently movable on the two-dimensional plane. The mark detecting system such as an alignment system, which are provided apart from the projection optical system, are used to detect the reference mark on the substrate stage and/or the mark on the sensitive substrate held on the substrate stage. The two-dimensional positions of the first and second substrate stages are measured by using the first to fourth length-measuring axes of the interferometer system respectively. As for the length-measuring axes of the interferometer system, the first length-measuring axis and the second length-measuring axis are provided on one side and the other side of the first and second substrate stages respectively along the direction of the first axis passing through the projection center of the projection optical system and the detection center of the mark detecting system. The first length-measuring axis is used to measure the position of the first substrate stage in the direction of the first axis, and the second length-measuring axis is used to measure the position of the second substrate stage in the direction of the first axis. The third length-measuring axis is provided so that it perpendicularly intersects the first axis at the projection center of the projection optical system. The fourth length-measuring axis is provided so that it perpendicularly intersects the first axis at the detection center of the mark detecting system. Accordingly, the reference marks formed on the two substrate stages can be detected by using the mark detecting system. During the mark detection, the two-dimensional position of the first substrate stage is measured by using the interferometers having the first length-measuring axis and the fourth length-measuring axis which mutually intersect perpendicularly at the detection center of the mark



detecting system, and the two-dimensional position of the second substrate stage is measured by using the interferometers having the second length-measuring axis and the fourth length-measuring axis which mutually intersect perpendicularly at the detection center of the mark detecting system. Therefore, the position of any of the stages is accurately measured without any Abbe error.

On the other hand, during the exposure for the mask pattern effected by the projection optical system, the two-dimensional position of the first substrate stage is measured by using the interferometers having the first length-measuring axis and the third length-measuring axis which mutually intersect perpendicularly at the projection center of the projection optical system, and the two-dimensional position of the second substrate stage is measured by using the interferometers having the second length-measuring axis and the third length-measuring axis which mutually intersect perpendicularly at the projection center. Therefore, the position of any of the stages is accurately measured without any Abbe error. Especially, the first length-measuring axis and the second length-measuring axis are arranged in the positional relationship as described above. Accordingly, the length-measuring axis is not intercepted during the period in which the first substrate stage and the second substrate stage are moved in the direction of the first axis. Therefore, the two substrate stages can be moved and reciprocated between the mark detecting system and the projection optical system on the basis of the measured values obtained by using the interferometers having these length-measuring axes. For example, the second substrate stage can be located under the projection optical system during the period in which the first substrate stage is disposed under the mark detecting system. Accordingly, it is possible to concurrently process the exposure operation effected by the projection optical system and the position-detecting operation effected by the mark detecting system for the marks on the respective substrate stages or the marks on the sensitive substrates in parallel to one another. As a result, it is possible to improve the throughput.

The projection exposure apparatus further may be provided with a controller (90) for controlling the first substrate stage and the second substrate stage (WS1, WS2), so that a position of one stage of the first substrate stage and the second substrate stage is managed based on the use of a measured value obtained by using the third length-measuring axis (BI3X) of the interferometer system, while exposing the sensitive substrate on the one stage, during which a positional relationship between an alignment mark on the sensitive substrate held on the other stage and a reference mark (MK) on the other stage is obtained based on the use of a detection result obtained by using the mark detecting system and a measured value obtained by using the fourth

length-measuring axis (BI4X) of the interferometer system, and after exposing the one sensitive substrate, a position of the other stage is measured by using the third length-measuring axis (BI3X), while a relative positional relationship between the reference mark on the other stage and a predetermined reference point within a projection area of the projection optical system is obtained.

The controller controls the operations of the two substrate stages as follows. That is, for example, the position of the first substrate stage is managed based on the use of the measured value obtained by using the third length-measuring axis of the interferometer system. During the period in which the sensitive substrate held on the first substrate stage is exposed, the positional relationship between the alignment mark on the sensitive substrate held on the second substrate stage and the reference mark on the second substrate stage is detected by using the detection result obtained by the mark detecting system and the measured value by using the fourth length-measuring axis of the interferometer system. Further, the controller measures the position of the second substrate stage based on the use of the measured value obtained by using the third length-measuring axis, while controlling the second substrate stage so that it moves to a position at which a positional relationship between a reference mark on the second substrate stage and a predetermined reference point within a projection area of the projection optical system such as the projection center to obtain the positional relationship thereof. That is, the controller is capable of controlling the operations of the two stages as follows. The position of the first stage is managed without any Abbe error with respect to the sensitive substrate held on the first stage, based on the use of the measured value obtained by using the third length-measuring axis at the projection center of the projection optical system, while the image of the pattern of the mask is projected through the projection optical system, during which the positional relationship between the alignment mark on the sensitive substrate held on the second stage and the reference mark on the second stage is accurately detected without any Abbe error based on the use of the detection result obtained by using the mark detecting system and the measured value obtained by using the fourth length-measuring axis at the detection center of the mark detecting system. Accordingly, it is possible to concurrently perform the exposure operation effected on the first stage and the alignment operation effected on the second stage as described above. Thus, it is possible to improve the throughput.

In addition, when the operations of the both stages are completed, the controller measures a position of the second substrate stage based on the use of the measured value obtained by using the third length-measuring axis, while moving the second substrate stage to the position at which the positional relationship between the

predetermined reference point within a projection area of the projection optical system and the reference mark on the second substrate stage is detectable so as to manage the position of the second substrate stage on the base of the reference mark.

Accordingly, as for the second substrate stage for which the positional relationship between the reference mark on the second stage and the alignment mark on the sensitive substrate has been measured (the alignment has been completed), its position can be managed based on the use of the measured value obtained by using the third length-measuring axis without any inconvenience, even when the fourth length-measuring axis used during the measurement of the alignment mark falls into an immeasurable state. Therefore, it is possible to detect the positional relationship between the reference mark on the second substrate stage and the predetermined reference point within the projection area of the projection optical system.

Moreover, it is possible to perform the exposure while executing the positional adjustment for the projection area of the projection optical system and the sensitive substrate on the basis of the positional relationship, the measurement result of the alignment, and the measured value obtained by using the third length-measuring axis. That is, the position of the second substrate stage can be managed during the exposure by using the another length-measuring axis, even when the measurement is impossible by using the length-measuring axis which has been used to manage the position of the second stage during the alignment. Further, it becomes unnecessary that the alignment operation of the first or the second substrate stages, the movement operation from the alignment position to the exposure position and the exposure operation are subsequently observed. Therefore, it is possible to miniaturize the reflective surface of the stage for reflecting the interferometer beam for each of the length-measuring axes. Thus, it is possible to miniaturize the substrate stage.

In the projection exposure apparatus, the mark detecting system may be an alignment system. Also, it is desirable that the interferometer of the third length-measuring axes is reset when the other stage is moved to a position at which the relative positional relationship between the reference mark on the other stage and the predetermined reference point within the projection area of the projection optical system. By means of resetting the interferometer of the third length-measuring axes at this time, the reference mark position on the other stage on the basis of the reference point within the projection area of the projection optical system and the position of the alignment mark of the sensitive substrate on the other stage is managed more easily.

The projection exposure apparatus further comprises another mark detecting system (24b) having a detection center on the first axis, disposed on a side opposite to

the mark detecting system (24a) with respect to the projection optical system (PL), wherein the interferometer system further provided with a fifth length-measuring axis (BI5Y) which perpendicularly intersects the first axis at a detection center of the another mark detecting system (24b); and the controller (90) may control the first and the second stage as follows. The controller manages the position of the one substrate stage based on the use of the measured value obtained by the third length-measuring axis (BI3Y) of the interferometer system, while exposing the sensitive substrate held on the one stage during which the positional relationship between the alignment mark on the sensitive substrate held on the other stage and the reference mark on the other stage is obtained based on the use of the detection result obtained by using the mark detecting system and the measured value obtained by using the fourth length-measuring axis (BI4Y) of the interferometer system, and, after exposing the one stage, moving the one stage so that, the reference mark on the one stage is positioned within the another mark detecting system while the position of the one stage is measured based on the use of the measured value obtained by using the fifth length-measuring axis (BI5Y).

The controller is capable of controlling the operations of the two stages as follows. That is, the position of the first substrate stage is managed without any Abbe error with respect to the sensitive substrate held on the first substrate stage, based on the use of the measured value obtained by using the third length-measuring axis which perpendicularly intersects the length-measuring axes (the first length-measuring axis and the second length-measuring axis) in the first axis direction at the projection center of the projection optical system, while the image of the pattern formed on the mask is subjected to exposure through the projection optical system, during which the positional relationship between the alignment mark on the sensitive substrate held on the second substrate stage and the reference mark on the second substrate stage is accurately detected without any Abbe error based on the use of the detection result obtained by using the mark detecting system and the measured value obtained by using the fourth length-measuring axis which perpendicularly intersects the length-measuring axes (the first length-measuring axis and the second length-measuring axis) in the first axis direction at the detection center of the mark detecting system. Accordingly, it is impossible to concurrently perform the exposure operation effected on the one substrate stage and the alignment operation effected on the second substrate stage as described above.

Then, the controller controls the operation of the first substrate stage as follows. That is, when the above-mentioned operations of the both stages are completed, the position of the first substrate stage is measured by the measured value obtained by



using the fifth length-measuring axis, while obtaining the relative position between the detection center of another mark detecting system and the reference mark on the first substrate stage. Accordingly, as for the first substrate stage for which the exposure for the sensitive substrate has been completed, the position of the first substrate stage can be managed without any Abbe error, based on the use of the reference mark on the first substrate stage and the measured value obtained by using the fifth length-measuring axis. Further, there is no inconvenience, even when the third length-measuring axis used during the exposure falls into an immeasurable state. Therefore, the exposure operation effected on the first stage and the exposure operation effected on the second stage can be easily changed by shifting the two substrate stages in the first axis direction, thereby, the measurement of the position of the second substrate stage, for which the alignment operation has been completed, is enabled based on the use of the measured value obtained by the third length-measuring axis, and the measurement of the position of the first substrate stage, for which the exposure operation has been completed, is enabled based on the use of the measured value obtained by the fifth length-measuring axis.

In this aspect, the projection exposure apparatus may further comprises a transport system (180 to 200) for receiving and transmitting the sensitive substrate (W1, W2) between the first substrate stage (WS1) and the second substrate stage (WS2), and it is desirable that the controller controls the one stage so as to position the reference mark thereon within the detection area of the another mark detecting system (24b), and at the position, the substrate is received and transmitted between the one stage and the transport system (180 to 200). In this constitution, in addition to the change between the exposure operation and the alignment operation described above, the controller allows the substrate to be received and transmitted between the first substrate stage and the transport system in the state in which the reference mark on the one stage is positioned within the detection area of the another mark detecting system using the fifth length-measuring axis of the interferometer system. Accordingly, the measurement of the position of the reference mark as the operation to start the alignment and the change of the sensitive substrate can be performed in a stationary state of the substrate stage. In addition to the fact that the movement time required for the substrate stage to move from the wafer exchange position to the alignment start position is zero, it is possible to perform the operations concerning the time T1, the time T2, and the time T3, for example on the side of the first substrate stage, while it is possible to perform the operation concerning the time T4 on the side of the second substrate stage. Therefore, it is possible to further improve the throughput.

In the projection exposure apparatus of the invention, the predetermined reference point within the projection area of the projection optical system (PL) may be the projection center for the image of the pattern formed on the mask (R); and the projection exposure apparatus further may comprise a mark position-detector (142, 144) for detecting a relative positional relationship between the projection center for the image of the pattern formed on the mask (R) and reference marks (MK1, MK2, MK3) on the stage, via the mask (R) and the projection optical system. The mark position-detector may be a detector detecting the marks through the projection optical system, such as a reticle alignment microscope.

In the projection exposure apparatus, as for the mark detecting system, at least one or more mark detecting systems may be provided apart from the projection optical system. However, it is also preferable that the two mark detecting systems (24a, 24b) are disposed on one side and the other side (each side) of the projection optical system (PL) in the direction of the first axis. When the mark detecting systems are arranged in the positional relationship as described above, then the sensitive substrate on the one substrate stage may be exposed by using the projection optical system located at the center (exposure operation), during which the sensitive substrate on the other substrate stage may be subjected to the mark detection by using any of the mark detecting systems (alignment operation). When the exposure operation is changed to the alignment operation, then the substrate stage for which the alignment operation has been completed can be moved to the position under the projection optical system and the other substrate stage can be moved to the position of the mark detecting system, only by deviating the two substrate stages in the direction of the first axis.

In the projection exposure, it is also preferable that the projection exposure apparatus further comprises a controller (90) for independently controlling movement of the first and second substrate stages on the basis of a result of measurement performed by the interferometer system (for example, the length-measuring axes BI1X to BI4Y) so that each of the first and second substrate stages (WS1 and WS2) is capable of performing an exposure operation effected by the projection optical system (PL) and a mark-detecting operation effected by the mark detecting system (for example, 24a). The controller independently controls the movement of the first and second substrate stages on the basis of the result of measurement performed by the interferometer system (for example, the length-measuring axes BI1X to BI4Y) so that each of the first and second substrate stages is capable of performing the exposure operation effected by the projection optical system (PL) and the mark-detecting operation effected by the mark detecting system (for example, 24a), and hence the exposure operation effected by the projection optical system and the mark-detecting

operation effected by the mark detecting system can be reliably performed for the sensitive substrate disposed on any of the substrate stages.

In this arrangement, if the spacing distance between the length-measuring axes BI3Y and BI4Y is too large, the length-measuring axes BI3Y, BI4Y are deviated from the substrate stage when the first substrate stage and the second substrate stage are moved. On the other hand, if such a situation is avoided, the interference between the both stages might occur. Therefore, in order to prevent such inconveniences, it is desirable that the controller (90) changes the third length-measuring axis (BI3Y) and the fourth length-measuring axis (BI4Y) of the interferometer system (for example, the length-measuring axes BI1X to BI4Y) between detection of the mark effected by the mark detecting system (for example, 24a) and exposure effected by the projection optical system (PL) for the first and second substrate stages (WS1 and WS2) respectively so that no inconvenience occurs even when the substrate stage is deviated from the length-measuring axis. In the constitution as described above, the spacing distance between the third length-measuring axis (BI3Y) and the fourth length-measuring axis (BI4Y) can be widened to avoid the interference between the both stages. Further, when the length-measuring axis BI3Y, BI4Y is deviated from the substrate stages during the movement of the first substrate stage and the second substrate stage, the controller can be used to change the length-measuring axis so that the two-dimensional position of each of the substrate stages is accurately measured at each of the processing positions by using the interferometer system.

According to the tenth aspect of the present invention, there is provided a method for exposing sensitive substrates by projecting an image of a pattern on a mask (R) via a projection optical system onto the sensitive substrates, characterized by:

- using two substrate stages (WS1, WS2) each of which is movable independently on an identical plane while each holding a sensitive substrate (W1, W2);

- measuring a position of one stage of the two stages by using a first interferometer, while exposing the sensitive substrate (W1, W2) held on the one stage;

- measuring the position of the other stage by using a second interferometer during exposure for the substrate held on the one stage, while measuring a positional relationship between an alignment mark on the substrate held on the other stage and a reference mark on the other stage;

- moving the other stage to a position at which a positional relationship between the reference mark on the other stage and a predetermined reference point within a projection area of the projection optical system is obtained, after completion of the exposure for the substrate on the one stage; and



performing alignment for the sensitive substrate held on the other stage and the image of the pattern on the mask, by using the first interferometer, on the basis of the relationship between the alignment mark on the substrate held on the other stage and the reference mark on the other stage, and a relationship between the reference mark on the other stage and the predetermined reference point within the projection area of the projection optical system.

According to the projection exposure method, for example, the exposure operation for the sensitive substrate held on the first substrate stage, and the measurement of the positional relationship (alignment operation) between the positional alignment mark of the sensitive substrate held on the second substrate stage and the reference mark on the stage are performed concurrently in parallel to one another. During this process, the position of the first substrate stage is managed by the aid of the first interferometer, and the position of the second stage is managed by the aid of the second interferometer. When the exposure operation effected on the side of the first substrate stage is completed, the position of the second stage is measurable by using the first interferometer which has been used to manage the position of the first substrate stage, and also, the second substrate stage is moved to the position at which the relative position between the predetermined reference point within the projection area of the projection optical system and the reference mark on the second substrate stage is detectable. Subsequently, the positional adjustment is performed for the sensitive substrate held on the second stage and the image of the pattern formed on the mask by using the first interferometer, on the basis of the positional relationship between the reference mark on the second stage and the positional alignment mark on the sensitive substrate held on the second stage measured previously. Thus, the sensitive substrate is exposed by projection with the image of the pattern formed on the mask.

That is, the exposure operation for the sensitive substrate held on the one substrate stage, and the alignment operation for the sensitive substrate held on the second stage are concurrently performed in parallel to one another. After that, the first substrate stage is retracted to a predetermined substrate exchange position, concurrently with which the second substrate stage is moved toward the position on which the position of the reference mark of the second substrate stage is detectable with respect to the predetermined reference point (for example, the projection center of the image of the pattern formed on the mask) within the projection area of the projection optical system, and then the positional relationship between the both is detected. Further, the alignment is performed for the sensitive substrate held on the second substrate stage and the image of the pattern formed on the mask on the basis of

the obtained detection result and the positional relationship between the alignment mark and the reference mark on the stage previously measured during the alignment operation, while the position of the second stage is managed by using the first interferometer.

Therefore, it is possible to improve the throughput by concurrently perform the exposure operation for the sensitive substrate on the first substrate stage and the alignment operation for the sensitive substrate on the second substrate stage. Even when the second interferometer, which has been used to manage the position of the other stage during the alignment, cannot be used for the measurement, the measurement based on the use of the first interferometer makes it possible to manage the position of the second substrate stage during the exposure. Thus, it becomes unnecessary that the stage position is observed continuously by means of one measuring axis or one interferometer through the alignment operation, the movement operation from the alignment position to the exposure position and exposure operation. Therefore, it is possible to miniaturize the reflective surface of the stage for reflecting the interferometer beam of each of the interferometers, and thereby it is possible to miniaturize the substrate stage.

According to the eleventh aspect of the present invention, there is provided a projection exposure apparatus for exposing a sensitive substrate (W1, W2) by projecting an image of a pattern formed on a mask (R) via a projection optical system (PL) onto the sensitive substrates, characterized by comprising: a first substrate stage (WS1) which is movable on a two-dimensional plane while holding a sensitive substrate (W1); a second substrate stage (WS2) which is movable independently from the first substrate stage (WS1) on the same plane as that for the first substrate stage (WS1) while holding a sensitive substrate (WS2); a transport system (180 to 200) for delivering the sensitive substrate with respect to the first and second substrate stages (WS1, WS2); and a controller (90) for controlling operations of the both stages so that one stage of the first (WS1) and second (WS2) substrate stages performs delivery of the sensitive substrate with respect to the transport system (180 to 200), during which the other stage performs an exposure operation.

According to the projection exposure apparatus, the controller controls the operations of the both stages so that one stage of the first substrate stage and the second substrate stage performs the delivery of the sensitive substrate with respect to the transport system, during which the other stage performs the exposure operation. Therefore, the operation corresponding to the time T1 explained above can be processed concurrently with the operation corresponding to the time T4. Thus, it is

possible to improve the throughput as compared with the conventional sequential process which requires the time ( $T1+T2+T3+T4$ ).

It is sufficient for any of the projection exposure apparatus that the exposure is performed by using one sheet of mask. However, it is also preferable that the projection exposure apparatus further comprises a mask stage (RST) which is capable of simultaneously carrying a plurality of masks (R); and a driving system (30) for driving the mask stage (RST) so that any of the masks (R) is selectively set at an exposure position. According to this embodiment, for example, in order to improve the resolving power, even when the so-called double exposure method is used to change the two masks so that overlay exposure is performed under an exposure condition appropriate for each exposure area, then the double exposure can be performed in a continuous manner by using the two masks on the side of the one substrate stage, during which another operation such as alignment can be performed on the side of the other substrate stage concurrently therewith, only by allowing the two masks to be carried on the mask stage beforehand, and changing the masks and setting the mask stage at the exposure position by using the driving system. Thus, the low throughput, which would be otherwise resulted from the double exposure method, can be greatly improved.

As compared with the stationary type projection exposure apparatus such as the stepper for exposing the sensitive substrate by projection with the pattern formed on the mask via the projection optical system in a state in which the mask and the sensitive substrate are allowed to stand still, any of the above-mentioned projection exposure apparatus is more effective when the projection exposure apparatus is constructed as a scanning type projection exposure apparatus in which the mask (R) is carried on the mask stage (RST) which is movable in a predetermined direction, wherein the projection exposure apparatus further comprises a stage controller (38) for exposing the sensitive substrate (WS1, WS2) by projection with the pattern formed on the mask, while synchronously moving the mask stage (RST) with respect to any one of the first and second substrate stages (WS1 and WS2), because of the following reason. That is, it is possible to realize highly accurate exposure owing to the averaging effect on the image of the mask pattern in the projection area formed by the projection optical system, and it is possible to make exposure for a larger area by using the smaller projection optical system as compared with those used for the stationary type projection exposure apparatus.

According to the twelfth aspect of the present invention, there is provided a projection exposure apparatus for exposing sensitive substrates (W1, W2) by

projecting an image of a pattern formed on a mask (R) via a projection optical system (PL) onto the sensitive substrates, characterized by having: a first substrate stage (WS1) which is movable on a two-dimensional plane while holding a sensitive substrate (W1); a second substrate stage (WS2) which is movable independently from the first substrate stage (WS1) on the same plane as that for the first substrate stage (WS1) while holding a sensitive substrate (W2); an interferometer system (for example, a length-measuring axes BI1X to BI4Y) for measuring two-dimensional positions of the first substrate stage and the second substrate stage (WS1, WS2) respectively; a storing device (91) which stores an interference condition for the interferometer system (for example, the length-measuring axes BI1X to BI4Y) to be used when the first substrate stage and the second substrate stage cause interference with each other; and a controller (90) for controlling movement of the both stages (WS1, WS2) to cause no interference with each other while monitoring a measured value obtained by the interferometer system (for example, the length-measuring axes BI1X to BI4Y) on the basis of the interference condition stored in the storing device (91).

According to the projection exposure apparatus, the interferometer system is used to measure the two-dimensional positions of the first substrate stage and the second substrate stage which are independently movable on the two-dimensional plane while holding the sensitive substrates respectively, and the movement of the both stages is controlled by the controller to cause no interference while monitoring the measured value obtained by using the interferometer system, on the basis of the interference condition stored in the storing apparatus under which the first substrate stage and the second substrate stage cause interference with each other. Therefore, even when the two stages are independently moved to concurrently process the two operations in parallel to one another, it is possible to prevent the two stages from contact (interference).

The projection exposure apparatus may further comprises an alignment system provided apart from the projection optical system (PL), for detecting a reference mark on the substrate stage (WS1, WS2) or a mark on the sensitive substrate (W1, W2) held on the substrate stage (WS1, WS2); and a transport system (180 to 200) for delivering the sensitive substrate (W1, W2) with respect to the first substrate stage and the second substrate stage (WS1, WS2). The controller (90) may control the two substrate stages (WS1, WS2) so that one stage of the substrate stages (WS1 or WS2) performs at least one operation of a mark-detecting operation performed by the alignment system and a sensitive substrate (W1, W2)-delivering operation with respect to the transport system (180 to 200), while a measured value obtained by using



the interferometer system (for example, length-measuring axes BI1X to BI4Y) is monitored, on the basis of the interference condition, during which the other stage (WS2 or WS1) is subjected to an exposure operation performed by using the projection optical system (PL), and when the controller (90) may control such that when the both stages (WS1, WS2) come to positions to cause interference with each other, the stage (WS1 or WS2) of the both stages (WS1, WS2), which takes a longer time until completion of the operation, is preferentially moved until the both stages (WS1, WS2) are in a positional relationship of no interference, during which the stage (WS2 or WS1), which takes a shorter time until completion of the operation, is allowed to wait.

According to this constitution, the controller controls the both substrate stages so that the one stage of the substrate stages performs at least one of the operations of the sensitive substrate-delivering operation and the mark-detecting operation, while monitoring the measured value obtained by using the interferometer system, on the basis of the interference condition, during which the other substrate stage is subjected to the exposure operation, while the controller performs control such that when the both stages come to the positions to cause interference with each other, the stage, which takes a longer time until completion of the operation concerning the both stages, is preferentially moved until the both stages are in the positional relationship of no interference, during which the stage, which takes a shorter time until completion of the operation, is allowed to wait. Therefore, even when a situation of interference occurs during the concurrent process for the two operations while independently moving the two stages, the interference of the two stages can be avoided without decreasing the throughput by comparing the time until completion of the operation for the both stages, preferentially moving the one stage, and allowing the other stage to wait.

According to the thirteenth aspect of the present invention, there is provided a projection exposure apparatus for exposing sensitive substrates (W1, W2) by projecting an image of a pattern formed on a mask (R) via a projection optical system (PL) onto the sensitive substrates, characterized by comprising: a first substrate stage (WS1), on which a reference mark is formed, moving on a two-dimensional plane while holding a sensitive substrate (W1); a second substrate stage (WS2), on which a reference mark is formed, for moving independently from the first substrate stage (WS1) on the same plane as that for the first substrate stage (WS1) while holding a sensitive substrate (W2); an alignment system (for example, 24a) provided apart from the projection optical system (PL), for detecting the reference mark on the substrate stage (WS1 or WS2) or a mark on the sensitive substrate (W1 or W2) held on the

substrate stage (WS1 or WS2); and a controller (90) for controlling the two stages (WS1, WS2) so that a mark-detecting operation is performed by the alignment system (for example, 24a) for the sensitive substrate held on one stage (WS1 or WS2) of the first substrate stage (WS1) and the second substrate stage (WS2), concurrently with which an exposure operation is performed for the sensitive substrate held on the other stage (WS2 or WS1), while an operation, which is included in the mark-detecting operation to be performed on the one stage (WS1 or WS2) and which affects the other stage (WS2 or WS1), is performed in synchronization with an operation which is included in the exposure operation to be performed on the other stage (WS2 or WS1) and which affects the one stage (WS1 or WS2), and for controlling the operations of the two substrate stages (WS1, WS2) so that operations, which are included in the respective operations to be performed on the first substrate stage (WS1) and the second substrate stage (WS2) and which make no influence with each other, are performed in synchronization with each other.

In the projection exposure apparatus, the controller controls the two stages so that the operation, which is included in the mark-detecting operation operated on the one stage and which affects the other stage (disturbance factor), is performed in synchronization with the operation which is included in the exposure operation operated on the other stage and which affects the one stage (disturbance factor). Accordingly, the operations, which make influence with each other, are synchronized. Therefore, no trouble occurs in the operations performed on the respective stages. Further, the controller controls so that the operations, which are included in the respective operations to be performed by the both stages and which make no influence with each other (non-disturbance factor), are performed in a synchronized manner. Therefore, no trouble occurs also in this case in the operations performed on the respective stages. Therefore, the position-detecting operation performed by the alignment system for the marks on the respective substrate stages or on the sensitive substrates can be concurrently processed in parallel to the exposure operation performed by the projection optical system. Consequently, it is possible to improve the throughput. Further, it is possible to concurrently process the two operations in an appropriate manner, because the operations performed on the two substrate stages make no influence with each other.

In this aspect, various combinations may be conceived for the operations which make no influence with each other. However, it is preferable that the one stage (WS1 or WS2) is stationarily rested to measure the mark on the one stage (WS1 or WS2) or the mark on the sensitive substrate (W1 or W2) held on the one stage (WS1 or WS2) during a period for exposing, by projection, the sensitive substrate (W2 or

W1) held on the other substrate stage (WS2 or WS1) with the image of the pattern formed on the mask (R). These operations do not make any influence with each other. Accordingly, it is possible to concurrently process, without any trouble, the highly accurate mark-detecting operation and the exposure operation.

On the other hand, various combinations may be conceived for the operations which make influence with each other. However, it is preferable that the one substrate stage (WS1 or WS2) is moved for detecting the next mark in synchronization with movement of the other substrate stage (WS2 or WS1) for the next exposure.

In this embodiment, it is preferable that the projection exposure apparatus further comprises a mask stage (RST) which is movable in a predetermined direction while carrying the mask (R), and a scanning system (for example, 38) for synchronously scanning the mask stage (RST) and the first substrate stage (WS1) or the second substrate stage (WS2) with respect to the projection optical system (PL), wherein the controller (90) stationarily rests the one stage (WS1 or WS2) to measure the mark on the one stage (WS1 or WS2) or the mark on the sensitive substrate (W1 or W2) held on the one stage (WS1 or WS2) during movement of the other substrate stage (WS2 or WS1) at a constant velocity in synchronization with the mask stage (RST). Accordingly, the scanning system is operated to move the mask stage and the other substrate stage at the constant velocity in a synchronized manner during the exposure. Therefore, the one stage is not affected thereby, for which the measurement of the mark is performed. The mark is measured in a stationary state which does not affect the other stage during the exposure, on the one stage for which the mark measurement is performed, during the movement of the other stage at the constant velocity (during the exposure). Accordingly, even during the process of the scanning exposure, the exposure operation and the mark-detecting operation can be concurrently dealt with in parallel to one another without any trouble by using the two stages.

In this embodiment, it is more desirable that the projection exposure apparatus further comprises a transport system (180 to 200) for delivering the sensitive substrate (W1 or W2) with respect to the first substrate stage and the second substrate stage (WS1, WS2) respectively, wherein the controller (90) controls operations of the two substrate stages (WS1, WS2) so that the one substrate stage (WS1 or WS2) performs at least one of the mark-detecting operation and a sensitive substrate (W1 or W2)-delivering operation with respect to the transport system (180 to 200), concurrently with which the exposure operation is performed for the sensitive



substrate (WS2 or WS1) held on the other stage, while an operation, which is included in the delivering operation and the mark-detecting operation to be performed on the one substrate stage (WS1 or WS2) and which affects the other stage (WS2 or WS1), is performed in synchronization with the operation which is included in the exposure operation to be performed on the other stage (WS2 or WS1) and which affects the one stage (WS1 or WS2), and the controller (90) controls the operations of the two substrate stages (WS1, WS2) so that the operations, which are included in the respective operations to be performed on the first substrate stage and the second substrate stage (WS1, WS2) and which make no influence with each other, are performed in synchronization with each other. According to this embodiment, the operations corresponding to the time T1, the time T2, and the time T3 explained above can be performed on the side of the one stage, while the operation corresponding to the time T4 can be performed on the side of the other stage. Therefore, the throughput is further improved, and it is possible to concurrently process the operations on the two stages respectively without any trouble.

In the projection exposure apparatus, the alignment system may be provided separately from the projection optical system. However, when the apparatus comprises, for example, two alignment systems separately from the projection optical system, it is preferable that the alignment systems (24a, 24b) are arranged on both sides of the projection optical system (PL) in a predetermined direction; and the controller (90) changes the operations of the both stages (WS1, WS2) when the operations of the both of the first substrate stage and the second substrate stage (WS1, WS2) are completed. In the case of the above constitution, the projection optical system disposed at the central position is used to expose the sensitive substrate held on the one substrate stage (exposure operation), while the one alignment system is used to detect the mark for the sensitive substrate held on the other substrate stage (alignment operation). When the exposure operation is changed to the alignment operation, only the movement of the two substrate stages toward the other alignment system along the predetermined direction makes it possible to move the one substrate stage having been located under the projection optical system to the position for the other alignment system, and move the other substrate stage having been located at the position for the one alignment system to the position under the projection optical system with ease. Thus, the two alignment systems can be alternately used as described above without any trouble.

According to the fourteenth aspect of the present invention, there is provided a projection exposure method for exposing sensitive substrates (W1, W2) by projecting an image of a pattern formed on a mask (R) via a projection optical system (PL) onto

the sensitive substrates, characterized by comprising: preparing two substrate stages, each of which moves independently on a two-dimensional plane while holding a sensitive substrate (W1, W2), each stage having a reference mark formed thereon; and exposing, by projection, the sensitive substrate (W1 or W2) held on one of the stages (WS1 or WS2) with the image of the pattern formed on the mask, while stationarily resting the other stage (WS2 or WS1) to detect the reference mark on the other stage (WS2 or WS1) or a mark on the sensitive substrate (W1 or W2) held on the other stage (WS2 or WS1).

According to the projection exposure apparatus, the other stage is stationarily rested during the projection exposure with the image of the pattern formed on the mask for the sensitive substrate held on the one stage of the two substrate stages to detect the reference mark on the other stage or the alignment mark on the sensitive substrate held on the other stage. Therefore, the two stages are used such that the projection exposure operation is performed on the one stage, during which the mark-detecting operation is performed on the other stage in the stationary state. Therefore, the highly accurate exposure operation and the mark-detecting operation are concurrently dealt with in parallel to one another without being affected by the operation performed on the one stage or the other stage with each other. Thus, it is possible to improve the throughput.

According to the fifteenth aspect of the present invention, there is provided a projection exposure method for exposing sensitive substrates (W1, W2) by projecting an image of a pattern formed on a mask (R) via a projection optical system (PL) onto the sensitive substrates, characterized by comprising: preparing two substrate stages, each of which moves independently on a two-dimensional plane while holding a sensitive substrate (W1, W2), each stage having a reference mark formed thereon; and successively exposing, by projection, a plurality of portions on the sensitive substrate (W1, W2) held on one stage (WS1 or WS2) of the two substrate stages (WS1, WS2) with the image of the pattern formed on the mask (R), and successively detecting a plurality of marks on the sensitive substrate (W1, W2) held on the other stage (WS2 or WS1) concurrently therewith, while determining an order of the detection of the marks on the sensitive substrate (W1, W2) held on the other stage (WS2 or WS1) so that the two substrate stages (WS1, WS2) cause no interference with each other.

According to the present invention, the projection exposure is successively performed with the image of the pattern formed on the mask for the plurality of portions on the sensitive substrate held on the one stage of the two substrate stages which are independently movable on the two dimensional plane while holding the

sensitive substrates respectively, concurrently with which the plurality of marks on the sensitive substrate held on the other stage are successively detected. During this process, the order of the detection of the marks on the sensitive substrate held on the other stage is determined so that the two substrate stages cause no interference with each other. Therefore, the order of the detection of the marks is determined in conformity with the movement of the stage which is subjected to the successive projection exposure process. Accordingly, the two stages are prevented from interference with each other, and the throughput can be improved by concurrently processing the operations.

According to the sixteenth aspect of the present invention, there is provided a scanning type projection exposure apparatus for exposing a sensitive substrate (W) with an image of a pattern formed on a mask (R) by moving the sensitive substrate (W) in a scanning direction with respect to an exposure area (IF) which is conjugate to an illumination area (IA) illuminated with an illumination light beam (EL), in synchronization with movement of the mask (R) in the scanning direction with respect to the illumination area (IA), the projection exposure apparatus comprising: a substrate stage (WS) which is movable on a two-dimensional plane while holding the sensitive substrate (W); a position-detecting system (151, 161) including detecting areas having a width, in a non-scanning direction perpendicular to a scanning direction, which is wider than that of an exposure area (IF), on one side and the other side in the scanning direction with respect to the exposure area (IF), for detecting a relative position of a surface of the sensitive substrate (W) with respect to a predetermined reference plane at least at one of a plurality of detecting points (for example, FA1 to FA9) set in the respective detecting areas along the non-scanning direction; a substrate-driving system (LS) provided on the substrate stage (WS), which adjusts a surface position of the sensitive substrate (W) held on the stage (WS); and a controller (90) which controls the substrate-driving system (LS) on the basis of detection result obtained by using the position-detecting system (151, 161), upon exposure for the sensitive substrate (W) held on the substrate stage (WS).

According to the projection exposure apparatus, the position-detecting system is arranged on each side in the scanning direction with respect to the exposure area, in the non-scanning direction perpendicular to the scanning direction respectively, having the detecting area with the width in the non-scanning direction wider than the exposure area. The relative position of the surface of the sensitive substrate with respect to the predetermined reference plane is detected at least at one of the plurality of detecting points set in the respective detecting areas along the non-scanning direction. The controller controls the substrate-driving system on the basis of the

detection results obtained by using the position-detecting systems, upon exposure for the sensitive substrate held on the substrate stage. Accordingly, for example, unlike the conventional pre-measurement sensor merely including the detecting area having the same width as the exposure area in which it has been difficult to perform pre-measurement control in the area in the vicinity of the outer circumference of the sensitive substrate when the scanning is performed from the outside to the inside of the sensitive substrate, it is possible to detect the relative position of the surface of the adjacent portion of the sensitive substrate with respect to the predetermined reference plane, owing to the detecting points of the part of the detecting area protruding to the outside of the exposure area even in such a case. It is possible to adjust the surface position of the sensitive substrate by controlling the substrate-driving system on the basis of the detection data. Therefore, it is possible to avoid decrease in throughput which would be otherwise caused by the change in scanning direction for the sensitive substrate. It is possible to drive the focus control by utilizing the detection data.

Alternatively, during the exposure for a certain shot area existing at the outer circumference portion of the substrate, the information on the surface position of a shot area adjacent thereto is detected by using the detecting points at the portions of the detecting area disposed on one side and the other side in the scanning direction protruding over the outside of the exposure area, and an obtained result is stored. By doing so, when the adjacent shot area is exposed, even if the adjacent shot is a shot area for which it is difficult to perform pre-measurement control by using the conventional pre-measurement sensor described above, it is possible to quickly drive the focus on the basis of the stored information on the surface position.

In this aspect, it is preferable that the controller (90) controls the substrate-driving system (LS) on the basis of at least one detection result for the plurality of detecting points (for example, FA1 to FA9) in the detecting area set on a front side of the exposure area in relation to the scanning direction for the sensitive substrate, of the detection results obtained by using the position-detecting systems. That is, the position-detecting system may be used as only a pre-measurement sensor.

Alternatively, various opportunities can be considered as timings to start control of the substrate-driving system in order to adjust the surface position of the sensitive substrate. However, it is preferable that when shot areas (212) in the vicinity of outer circumference of the sensitive substrate (W) are subjected scanning exposure from the outside to the inside of the sensitive substrate (W), the controller (90) starts control for the substrate-driving system (LS) for adjusting the surface position of the sensitive substrate (W) on the basis of a detection result for a detecting point (FA1 to



FA9) which overlaps the sensitive substrate (W), from a point of time at which at least one of the plurality of detecting points (for example, FA1 to FA9) overlaps an effective area on the sensitive substrate (W), because of the following reason. That is, it is possible to quickly move the surface into a desired position (focus onto the surface) by starting the control of the substrate-driving system from the state in which at least one of the detecting points overlaps the effective area.

Alternatively, when one detecting point overlaps the shot area, the surface position (including the inclination) of the sensitive substrate is adjusted as follows by the aid of the substrate-driving system. That is, it is preferable that when shot areas (212) in the vicinity of outer circumference of the sensitive substrate (W) are subjected scanning exposure, if only one detecting point (for example, FA3 to FA7) overlaps the shot area (212), then the controller (90) adjusts an inclination of the sensitive substrate (W) by the aid of the substrate-driving system (LS) on the basis of a predetermined fixed value. The predetermined fixed value is exemplified by an inclination of zero. In this case, the surface of the sensitive substrate is set on a horizontal plane including the surface position in the direction perpendicular to the reference plane detected by using the detecting points. Therefore, even when only one detecting point is used, it is possible to perform the leveling control in addition to the focus control.

Alternatively, it is preferable that when shot areas (212) in the vicinity of outer circumference of the sensitive substrate (W) are subjected scanning exposure, if only one detecting point (for example, FA3 to FA7) overlaps the shot area (212), then the controller (90) adjusts an inclination of the sensitive substrate (W) by the aid of the substrate-driving system (LS) on the basis of a detection result for the only one detecting point and a detection result for another detecting point (for example, FA1, FA2, FA8, FA9) which overlaps a shot area adjacent to the shot area (212) overlapped by the one detecting point. As described above, even when one detecting point in the exposure shot area is used, it is possible to perform the focus/leveling control with relative accuracy, by using the detection result for the adjacent shot area and the detection result for the one point. Further, it may be previously determined that a detection result of what detecting point included in the plurality of detecting points (for example, FA1 to FA9) is used for each of the plurality of shot areas (212) on the sensitive substrate (W), and when a certain shot area (212) on the sensitive substrate (W) is subjected to scanning exposure, the controller (90) adjusts the surface position of the sensitive substrate (W) by the aid of the substrate-driving system (LS) by using only the detection result for the detecting point determined for the shot area (212). As described above, the detecting point, which is suitable to detect the surface

position corresponding to each of the shot areas, is previously determined, and thus it is possible to adjust the surface position (perform the focus/leveling control) with good efficiency and with less error.

It is desirable that the effective area on the sensitive substrate is disposed inside a prohibition zone (pattern prohibition zone) defined over an entire surface of the sensitive substrate (W) or at a circumferential edge portion of the sensitive substrate (W). In this embodiment, from the point of time at which at least one of the detecting points overlaps the inside of the sensitive substrate or the prohibition zone defined at the circumferential edge portion of the sensitive substrate, the control of the substrate-driving system is started in order to adjust the surface position of the sensitive substrate. Especially, the use of the inside of the prohibition zone defined at the circumferential edge portion of the sensitive substrate makes it difficult to be affected by dust and camber existing in the vicinity of the outer circumference of the sensitive substrate. Therefore, it is possible to detect the surface position of the sensitive substrate more accurately.

Various judgment standards are conceived to make judgment whether or not the area is the effective area. However, it is preferable that the controller (90) judges whether or not any detecting point (FA1 to FA9) for the position-detecting system (151, 161) overlaps the effective area on the sensitive substrate (W), on the basis of positional information on outer circumference of the sensitive substrate (W), positional information on the respective detecting points (for example, FA1 to FA9) for the position-detecting system (151, 161), and positional information on the shot area (212) to be subjected to exposure. Accordingly, it is possible to accurately judge whether or not any of the detecting points for the position-detecting system overlaps the effective area on the sensitive substrate. Thus, it is possible to accurately start the control of the adjustment of the surface position of the sensitive substrate effected by the substrate-driving system.

As another judgment standard to make judgment whether or not the area is the effective area, for example, it is preferable that the controller (90) judges whether or not any of the detecting points (FA1 to FA9) for the position-detecting system (151, 161) overlaps the effective area on the sensitive substrate (W) by comparing a predetermined allowable value with the detection results for the plurality of detecting points (for example, FA1 to FA9) for the position-detecting system (151, 161). In this embodiment, the effective area is judged in accordance with whether or not the detection value is included in the range of the predetermined allowable value. Even in the case of those included in the effective range, if any error factor exists due to any



influence of dust or camber of the sensitive substrate, such a factor can be removed provided that it is excluded from the range of the allowable value. Therefore, this embodiment is advantageous in that an unexpected situation can be dealt with.

As for the timing to start adjustment for the inclination of the sensitive substrate by the aid of the substrate-driving system by using the control system, for example, the following procedure is available. That is, it is preferable that when the shot area (212) in the vicinity of the outer circumference of the sensitive substrate (W) is subjected scanning exposure, the controller (90) starts, from a point of time at which a plurality of detecting points (for example, FA1 to FA9) overlap the shot area (212), adjustment for the inclination of the sensitive substrate (W) on the basis of only the detection results for the detecting points (FA1 to FA9) which overlap the shot area (212), by the aid of the substrate-driving system (LS). Accordingly, when the plurality of detecting points overlap the shot area, the inclination of the surface of the shot area can be known. Thus, it is possible to perform the leveling control accurately.

Various judgment standards are conceived to judge whether or not any detecting point for the position-detecting system overlaps any shot area. However, it is preferable that the controller (90) judges whether or not any detecting point for the position-detecting system (151, 161) overlaps the shot area (212), on the basis of positional information on outer circumference of the sensitive substrate (W), positional information on the respective detecting points (for example, FA1 to FA9) for the position-detecting system (151, 161), and positional information on the shot area (212) to be subjected to exposure. Accordingly, it is possible to accurately judge whether or not any of the detecting points for the position-detecting system overlaps any shot area on the sensitive substrate. Thus, in the inventions, it is possible to accurately judge the number of detecting points overlapping the shot area. Alternatively, it is preferable that when the shot area (212) in the vicinity of the outer circumference of the sensitive substrate (W) is subjected to scanning exposure, if only one detecting point (for example, FA1 to FA9) overlaps the shot area (212), then the controller (90) starts adjustment for the inclination of the sensitive substrate (W) by the aid of the substrate-driving system (LS) on the basis of detection results for a predetermined number of detecting points (FA1 to FA9) including the only one detecting point (one point included in FA1 to FA9) and at least one detecting point (adjoining point included in FA1 to FA9) adjacent thereto, and then the detecting point (FA1 to FA9) to be used for the adjustment for the inclination is successively shifted toward the inside of the shot area (212). Even when only one detecting point overlaps the shot area, the adjustment for the inclination of the sensitive substrate is

started on the basis of the detection results for the detecting points including at least one detecting point adjacent to the one detecting point, and the detecting point to be used for the inclination adjustment is successively shifted toward the inside of the shot area, in accordance with the increase in the number of detecting points disposed at the inside of the shot area. Thus, it is possible to perform the adjustment for the inclination more accurately.

According to the seventeenth aspect of the present invention, there is provided a scanning exposure method for exposing a sensitive substrate (W) with an image of a pattern formed on a mask (R) by moving the sensitive substrate (W) in a scanning direction with respect to an exposure area (IF) which is conjugate to an illumination area (IA) illuminated with an illumination light beam (EL), in synchronization with movement of the mask (R) in the scanning direction with respect to the illumination area (IA), the scanning exposure method comprising the steps of: projecting a plurality of slit images onto a surface of the sensitive substrate (W) in a direction inclined by a predetermined angle so that the plurality of slit images are arranged along a non-scanning direction in detecting areas (ABE, AFE) having a width in the non-scanning direction perpendicular to the scanning direction wider than that of an exposure area (IF) and disposed on one side and the other side in the scanning direction with respect to the exposure area (IF), during scanning exposure for the sensitive substrate (W); receiving reflected light beams of the respective slit images coming from the sensitive substrate (W) to calculate, on the basis of photoelectrically converted signals thereof, relative positions on the surface of the sensitive substrate (W) with respect to a predetermined reference plane at respective detecting points (for example, AF1 to AF9) onto which the slit images are projected respectively; and adjusting a surface position of the sensitive substrate (W) in the exposure area (IF) on the basis of a result of the calculation.

According to the scanning exposure method, the plurality of slit images are projected onto the surface of the sensitive substrate in the direction inclined by the predetermined angle so that the plurality of slit images are arranged along the non-scanning direction in the detecting areas having a width, in the non-scanning direction perpendicular to the scanning direction, wider than that of the exposure area, and disposed on one side and the other side in the scanning direction with respect to the exposure area, during scanning exposure for the sensitive substrate. The reflected light beams of the respective slit images coming from the sensitive substrate are received to obtain the photoelectrically converted signals on the basis of which the relative positions of the surface of the sensitive substrate with respect to the predetermined reference plane are calculated respectively at the respective detecting

points onto which the slit images are projected. Further, the surface position of the sensitive substrate in the exposure area is adjusted on the basis of the result of the calculation. Accordingly, for example, when the scanning is performed from the outside to the inside of the sensitive substrate upon exposure for the area in the vicinity of the outer circumference of the sensitive substrate, it is possible to calculate the relative position of the surface of the sensitive substrate with respect to the predetermined reference plane at the detecting point on the basis of the photoelectrically converted signal of the reflected light beam of the slit image at the detecting point protruding over the outside of the exposure area. As a result, it is possible to calculate the relative position of the surface of the sensitive substrate at the adjacent portion with respect to the predetermined reference plane by using the detecting point protruding over the outside of the exposure area. It is possible to adjust the surface position of the sensitive substrate on the basis of the result of the calculation. Therefore, it is possible to avoid the decrease in throughput which would be otherwise caused by the change in scanning direction for the sensitive substrate, and it is possible to perform the focus control more accurately by utilizing the calculated data.

According to the eighteenth aspect of the present invention, there is provided a projection exposure method for exposing a plurality of shot areas (210) on a sensitive substrate (W1 or W2) respectively with an image of a pattern formed on a mask (R) via a projection optical system (PL) by moving the sensitive substrate (W1 or W2) in a scanning direction with respect to an exposure area (IF) which is conjugate to an illumination area (IA) illuminated with an illumination light beam (EL), in synchronization with movement of the mask (R) in the scanning direction with respect to the illumination area (IA), the projection exposure method characterized by comprising the steps of: selecting some of the plurality of shot areas (210) as sample shot areas so as to include shot areas (210) in the vicinity of outer circumference which are set to be subjected to scanning from the outside to the inside of the sensitive substrate (W1 or W2) with respect to the exposure area (IF); measuring coordinate positions of the sample shot areas respectively; detecting a relative position of the sensitive substrate (W1 or W2) with respect to a predetermined reference plane for each of the sample shot areas when the coordinate positions of the sample shot areas are measured; determining an arrangement of the plurality of shot areas (210) on the sensitive substrate (W1 or W2) on the basis of the measured coordinate positions of the sample shot areas; and performing positional adjustment of the respective shot areas with respect to the image of the pattern on the mask (R) on the basis of the determined arrangement of the shot areas (210) while adjusting a surface position of the sensitive substrate (W1 or W2) on the basis of the relative position detected by

measuring the coordinate positions, when exposure are performed for the respective shot areas (210) in the vicinity of the outer circumference which are set to be subjected to scanning from the outside to the inside of the sensitive substrate (W1 or W2) with respect to the exposure area (IF).

According to the projection exposure apparatus, some of the plurality of shot areas are selected as the sample shot areas so as to include the shot areas in the vicinity of the outer circumference which are set to be subjected to scanning from the outside to the inside of the sensitive substrate with respect to the exposure area, of the plurality of shot areas on the sensitive substrate. The coordinate positions of the some of sample shot areas are measured respectively. The relative position of the sensitive substrate with respect to the predetermined reference plane for each of the some of sample shot areas is detected when the coordinate positions of the some of sample shot areas are measured. After that, the arrangement of the plurality of shot areas on the sensitive substrate is determined on the basis of the measured coordinate positions of the sample shot areas.

The positional adjustment with respect to the image of the pattern on the mask is performed for the shot area on the basis of the determined arrangement of the shot areas as described above when exposure is performed for the respective shot areas in the vicinity of the outer circumference which are set to be subjected to scanning from the outside to the inside of the sensitive substrate with respect to the exposure area, and the surface position of the sensitive substrate is adjusted on the basis of the detected relative position by measuring the coordinate positions.

Accordingly, even in the case of exposure for the respective shot areas in the vicinity of the outer circumference which are set to be subjected to scanning from the outside to the inside of the sensitive substrate with respect to the exposure area, it is possible to adjust the surface position of the sensitive substrate on the basis of the relative position detected when the coordinate position is measured. Therefore, it is possible to avoid an inconvenience that the scanning direction is changed from the inside to the outside upon exposure for such shot areas, and the throughput is sacrificed.

In this aspect, it is not necessarily indispensable that the sensitive substrate is moved in the same direction as that during the exposure to detect the relative position of the sensitive substrate with respect to the predetermined reference plane, when the coordinate position of the sample shot area in the vicinity of the outer circumference is measured. However, it is desirable that the relative position of the sensitive

substrate (W1 or W2) with respect to the predetermined reference plane is detected while moving the sensitive substrate (W1 or W2) in the same direction as that used during exposure upon the measurement of the coordinate positions of the shot areas (210) in the vicinity of the outer circumference which are set to be subjected to scanning from the outside to the inside of the sensitive substrate (W1 or W2) with respect to the exposure area (IF), of the sample shot areas, because of the following reason. That is, by doing so, it is possible to perform focus control in which, for example, the offset, which depends on the movement direction of the sensitive substrate (W1 or W2), is removed.

The exposure apparatus, the projection exposure apparatus and the exposure method of those aspects described above are extremely effective for the step and scan type projection exposure, especially suitable for performing the double exposure in which high resolution is required in exposure.

#### Brief Description of the Drawings

FIG. 1 shows a schematic arrangement of the projection exposure apparatus according to the first embodiment of the present invention.

FIG. 2 is a perspective view illustrating the positional relationship among the two wafer stages, the reticle stage, the projection optical system, and the alignment systems, showing that the wafer stage WS1 exists in a position information measuring section and the wafer stage WS2 exists in an exposure section.

FIG. 3 shows a plan view illustrating the arrangement of the driving mechanism for the wafer stages.

FIG. 4 shows the AF/AL systems provided for the projection optical system and the alignment systems respectively.

FIG. 5 shows a schematic arrangement of the projection exposure apparatus illustrating the layout of the AF/AL system and the TTR alignment system.

FIG. 6 shows the shape of the pattern formation plate shown in FIG. 5.

FIG. 7 shows a plan view illustrating the state in which the wafer exchange/alignment sequence and the exposure sequence are executed by using the two wafer stages.

FIG. 8 shows the state obtained after the change between the wafer exchange/alignment sequence and the exposure sequence shown in FIG. 7.

FIG. 9 shows the reticle stage for the double exposure for holding the two reticles.

FIG. 10A shows the state in which the wafer is exposed by using the reticle having the pattern A shown in FIG. 9, and FIG. 10B shows the state in which the wafer is exposed by using the reticle having the pattern B shown in FIG. 9.



FIG. 11 shows the order of exposure for each of the respective shot areas on the wafer held on one of the two wafer stages.

FIG. 12 shows the order of mark detection for each of the respective shot areas on the wafer held on the other of the two wafer stages.

FIG. 13 shows a plan view of the wafer illustrating the order of exposure for the scanning type projection exposure apparatus, used when all shot arrays are included in the wafer.

FIG. 14A shows a magnified plan view concerning the AF measurement for pre-measurement performed at the position A shown in FIG. 13.

FIG. 14B shows a magnified plan view concerning the AF measurement for pre-measurement performed at the position B shown in FIG. 13.

FIG. 14C shows a magnified plan view concerning the AF measurement for pre-measurement performed at the position C shown in FIG. 13.

FIG. 15 shows a diagram illustrating the result of pre-measurement control concerning Comparative Example, performed for the shot area located in the vicinity of the outer circumference of the wafer.

FIG. 16 shows a plan view of the wafer illustrating the order of alignment for the scanning type projection exposure apparatus, used when all shot arrays are included in the wafer.

FIG. 17 shows a diagram illustrating the result of pre-measurement control, obtained in the first embodiment.

FIG. 18 shows a diagram illustrating the result of pre-measurement control, obtained when the reproducibility in measurement involves an error in the first embodiment.

FIG. 19A illustrates the operation for detecting the reference mark on the fiducial mark plate based on the use of the alignment system, which shows a situation in which the reference mark MK2 on the fiducial mark plate FM1 is positioned just under the alignment system 24a.

FIG. 19B shows an example of the shape of the reference mark MK2 and a situation of image pick-up for detecting the same by using the sensor of the FIA system of the alignment system 24a.

FIG. 19C shows a waveform signal obtained by the image processing system when the image of the mark MK2 is picked up by using the sensor of the FIA system.

FIG. 20A explains the operation for measuring the mark on the fiducial mark plate based on the use of the reticle alignment microscope, wherein a situation in which the reticle alignment microscope is used with the exposure light beam to detect the relative positions of the marks MK1, MK3 on the fiducial mark plate FM1 and the projected images on the wafer surface, of the marks RMK1, RMK3 on the reticle corresponding thereto.



FIG. 20B shows the projected image on the wafer, of the mark RMK on the reticle R.

FIG. 20C shows the mark MK on the fiducial mark plate.

FIG. 20D shows a situation of image pick-up performed in the system shown in FIG. 20A.

FIG. 20E shows the waveform signal obtained by processing the picked up image.

FIG. 21 shows the concept of a state in which each shot on the wafer is subjected to exposure in accordance with the relative positional relationship between each shot and the exposure position finally calculated.

FIG. 22 explains the operation of the second embodiment, illustrating a situation in which the interferometer having the length-measuring axis BI3Y is reset after completion of the alignment for the wafer W1 on the wafer stage WS1.

FIG. 23 explains the operation of the second embodiment, illustrating a situation in which the wafer stage WS1 is moved to the loading position, and the operation of the exposure sequence is performed on the side of the wafer stage WS2.

FIG. 24 shows a flow chart illustrating the timing control operation which is performed when the disturbance factor operation and the non-disturbance factor operation are performed on the two wafer stages.

FIG. 25A shows a plan view of the stages illustrating the non-interference condition which is used when the two wafer stages are moved and controlled independently from each other.

FIG. 25B shows a plan view of the stages illustrating the interference condition which is used when the two wafer stages are moved and controlled independently from each other.

FIG. 26 shows a flow chart illustrating the movement control operation of the two stages, which is used when the interference condition is satisfied or when the interference condition is not satisfied.

FIG. 27A shows a plan view of the wafer illustrating the sample shots for which the alignment is performed.

FIG. 27B shows a plan view of the wafer illustrating the shot areas SA for which the exposure is performed.

FIG. 28A shows a plan view of the wafer illustrating the order of shots used when the alignment sequence is performed.

FIG. 28B shows a plan view of the wafer illustrating the order of exposure used when the exposure sequence is performed.

FIG. 29 shows a schematic arrangement of the projection exposure apparatus according to the second embodiment.

FIG. 30 shows a perspective view illustrating the arrangement of the AF detecting points for pre-measurement with respect to the exposure area.

FIG. 31 shows a side view of FIG. 30 as viewed in the scanning direction.

FIG. 32 shows a plan view of FIG. 31.

FIG. 33 shows a side view of FIG. 32 as viewed in the non-scanning direction.

FIG. 34 shows a plan view illustrating the pre-measurement control method based on the use of the AF/AL system according to the second embodiment.

FIG. 35 shows the positional relationship between the exposure area IF and the AF detecting points during the focus measurement.

FIG. 36 shows a selection procedure for designating the position of the AF detecting point used for the AF measurement for each shot area SA.

FIG. 37 shows the positions of the AF detecting points used when the shot area SA belonging to the group A is exposed, and the wafer surface upon the start of the pre-measurement control.

FIG. 38 shows the AF detecting points used when the focus measurement is performed for the wafer surface by moving the AF detecting points without changing the number of the AF detecting points to be used.

FIG. 39 shows the AF detecting points used when the focus measurement is performed for the wafer surface by using all of the measurable AF detecting points.

FIG. 40 shows the positions of the AF detecting points used when the shot area SA belonging to the group C is exposed, and the wafer surface upon the start of the pre-measurement control.

FIG. 41 shows a diagram illustrating the result of the pre-measurement control performed as shown in FIG. 40.

FIG. 42 shows Comparative Example concerning the pre-measurement control performed when the shot array is larger than the outer circumference of the wafer W.

FIG. 43 shows Comparative Example concerning the pre-measurement control performed when the shot array is larger than the outer circumference of the wafer W.

FIG. 44 is a view schematically showing the entire structure of an exposure apparatus related to the fifth embodiment.

FIG. 45 is a schematic plan view of one wafer stage of FIG. 44.

FIG. 46 is a schematic plan view of the apparatus of FIG. 44.

FIG. 47 is a view showing a flow of actions in the apparatus of FIG. 44.

FIG. 48 is a schematic plan view showing the structure of a main part of an exposure apparatus as the sixth embodiment.

## Preferred Embodiments of the Invention

### [First Embodiment]

A first embodiment of the present invention will be explained below with reference to FIGS. 1 to 18.

FIG. 1 shows a schematic arrangement of a projection exposure apparatus 10 according to the first embodiment. The projection exposure apparatus 10 is a projection exposure apparatus of the scanning exposure type based on the so-called step-and-scan system. A structure and a controlling method of the step-and-scan system projection exposure apparatus are disclosed in U.S. Pat. Nos. 5,646,413 and 5,448,332, the disclosures of which are herein incorporated by reference.

The projection exposure apparatus 10 comprises, for example, a stage apparatus provided with wafer stages WS1, WS2 as first and second substrate stages which are independently movable in the two-dimensional direction on a base pedestal 12 while holding wafers W1, W2 as sensitive substrates, a projection optical system PL disposed over the stage apparatus, a reticle-driving mechanism disposed over the projection optical system PL, for driving a reticle R as a mask in a predetermined direction, i.e., in the Y axis direction in this embodiment (direction perpendicular to the plane of the paper in FIG. 1), an illumination system for illuminating the reticle R from a position thereover, and a control system for controlling the respective components.

The stage apparatus is supported over the base pedestal 12 in a floating manner by the aid of an unillustrated air bearing. The stage apparatus comprises the two wafer stages WS1, WS2 which are independently movable two-dimensionally in the X axis direction (lateral direction along the plane of the paper shown in FIG. 1) and in the Y axis direction (direction perpendicular to the plane of the paper shown in FIG. 1), a stage-driving system for driving the wafer stages WS1, WS2, and an interferometer system for measuring the positions of the wafer stages WS1, WS2. As shown in FIG. 2, the wafer stage WS1 exists in the positional information measuring section (PIS) and the wafer stage WS2 exists in the exposure section (EPS), both stages WS1, WS2 can move between PIS and EPS, respectively.

The arrangement will be further described below. Unillustrated air pads (for example, vacuum-pre-loadable air bearings) are provided at a plurality of positions on bottom surfaces of the wafer stages WS1, WS2. The wafer stages WS1, WS2 are supported over the base pedestal 12 in a floating manner in a state in which a spacing distance of, for example, several microns is maintained in accordance with the balance between the vacuum-pre-loaded force and the air-ejecting force effected by the air pads.

As shown in a plan view in FIG. 3, two X axis linear guides (for example, fixed magnets of a linear motor of the so-called moving coil type) 122, 124, which extend in the X axis direction, are provided in parallel on the base pedestal 12. Two movable members 114, 118, 116, 120, which are movable along the X axis linear guides respectively, are attached to the X axis linear guides 122, 124 respectively. Unillustrated driving coils are attached to bottom portions of the four movable members 114, 118, 116, 120 respectively so that the X axis linear guides 122, 124 are surrounded thereby at upper and lateral sides. The moving coil type linear motors for driving the respective movable members 114, 116, 118, 120 in the X axis direction are constructed by the driving coils and the X axis linear guides 122, 124 respectively. However, in the following description, the movable members 114, 116, 118, 120 are referred to as "X axis linear motor" for convenience.

Among them, the two X axis linear motors 114, 116 are provided at both ends of a Y axis linear guide 110 extending in the Y axis direction (for example, a fixed coil of a linear motor of the moving magnet type) respectively. The other two X axis linear motors 118, 120 are secured to both ends of a similar Y axis linear guide 112 extending in the Y axis direction. Therefore, the Y axis linear guide 110 is driven along the X axis linear guides 122, 124 by means of the X axis linear motors 114, 116, while the Y axis linear guide 112 is driven along the X axis linear guides 122, 124 by means of the X axis linear motors 118, 120.

On the other hand, an unillustrated magnet, which surrounds one of the Y axis linear guides 110 at upper and lateral sides, is provided on the bottom of the wafer stage WS1. A moving magnet type linear motor for driving the wafer stage WS1 in the Y axis direction is constructed by the magnet and the Y axis linear guide 110. Further, an unillustrated magnet, which surrounds the other Y axis linear guide 112 at upper and lateral sides, is provided on the bottom of the wafer stage WS2. A moving magnet type linear motor for driving the wafer stage WS2 in the Y axis direction is constructed by the magnet and the Y axis linear guide 112.

That is, in the first embodiment of the present invention, the stage-driving system for two-dimensionally driving the wafer stages WS1, WS2 independently in the XY direction is constructed, for example, by the X axis linear guides 122, 124, the X axis linear motors 114, 116, 118, 120, the Y axis linear guides 110, 112, and the unillustrated magnets disposed on the bottoms of the wafer stages WS1, WS2. The stage-driving system is controlled by a stage control unit 38 shown in FIG. 1.

Minute yawing can be generated on the wafer stage WS1, or minute yawing can be removed therefrom, by slightly varying the torque of the pair of X axis linear motors 114, 116 provided at the both ends of the Y axis linear guide 110. Similarly, minute yawing can be generated on the wafer stage WS2, or minute yawing can be removed therefrom, by slightly varying the torque of the pair of X axis linear motors 118, 120 provided at the both ends of the Y axis linear guide 112.

Wafers W1, W2 are fixed on the wafer stages WS1, WS2 by means of, for example, vacuum suction by the aid of unillustrated wafer holders. Each of the wafer holders is finely driven in the Z axis direction perpendicular to the XY plane and in the  $\theta$  direction (rotational direction about the Z axis) by means of an unillustrated Z- $\theta$  driving mechanism. Fiducial mark plates FM1, FM2, on which various fiducial marks are formed, are placed on upper surfaces of the wafer stages WS1, WS2 to be at the substantially same height as that of the wafers W1, W2 respectively. The fiducial mark plates FM1, FM2 are used, for example, when the reference position of each of the wafer stages is detected.

One side surface (left side surface in FIG. 1) 20 of the wafer stage WS1 in the X axis direction, and one side surface (back side surface as viewed in the plane of the paper in FIG. 1) 21 thereof in the Y axis direction are mirror-finished reflective surfaces. Similarly, the other side surface (right side surface in FIG. 1) 22 of the wafer stage WS2 in the X axis direction, and one side surface 23 thereof in the Y axis direction are mirror-finished reflective surfaces. Interferometer beams for respective length-measuring axes (for example, BI1X, BI2X) for constructing an interferometer system as described later on are projected onto the reflective surfaces. Reflected light beams therefrom are received by respective interferometers so as to measure displacements of the respective reflective surfaces from the reference position (in general, a fixed mirror is disposed on a side surface of the projection optical system or on a side surface of the alignment optical system, and such a position is used as the reference surface). Thus, the two-dimensional positions of the wafer stages WS1, WS2 are measured respectively. The construction of the length-measuring axes of the interferometer system will be described in detail later on.

A refractive optical system, which comprises a plurality of lens elements having a common optical axis in the Z axis direction and which is telecentric on both sides having a predetermined reduction magnification, for example, 1/5, is used as the projection optical system PL. Therefore, the velocity of movement of the wafer



stage in the scanning direction during scanning exposure based on the step-and-scan system is 1/5 of the velocity of movement of the reticle stage.

As shown in FIG. 1, alignment systems 24a, 24b having the same function based on the off-axis system are installed on both sides in the X axis direction of the projection optical system PL at positions separated from the center of the optical axis of the projection optical system PL (coincident with the projection center of the image of the reticle pattern) by an identical distance respectively. The alignment systems 24a, 24b have three types of alignment sensors based on the LSA (Laser Step Alignment) system, the FIA (Field Image Alignment) system, and LIA (Laser Interferometric Alignment) system. The alignment systems 24a, 24b make it possible to perform measurement of the position in the X, Y two-dimensional direction of the reference mark on the fiducial mark plate and the alignment mark on the wafer. The LSA and LIA are disclosed in U.S. Pat. No. 5,151,750 and the FIA is disclosed in U.S. Pat. No. 5,493,403, the disclosures of which are herein incorporated by reference.

The LSA system resides in a general-purpose sensor most widely used to measure the mark position by irradiating the mark with a laser beam and utilizing a diffracted and scattered light beam. The LSA system has been hitherto widely used for process wafers. The FIA system resides in a sensor to measure the mark position by illuminating the mark with a broad band (wide zone) light beam such as a halogen lamp, and performing image processing for an obtained mark image. The FIA system is effectively used for asymmetric marks on aluminum layers and wafer surfaces. The LIA system resides in a sensor to detect positional information of the mark from a phase measured by irradiating a diffraction grating-shaped mark with laser beams having slightly different frequencies in two directions, and interfering two generated diffracted light beams. The LIA system is effectively used for wafers having small differences in level and wafers having rough surfaces.

In the first embodiment of the present invention, the three types of the alignment sensors are appropriately used depending on the purpose so that, for example, so-called search alignment is performed for measuring the approximate position of the wafer by detecting three points of one-dimensional marks on the wafer, and fine alignment is performed for measuring the accurate position of each of shot areas on the wafer.

In this embodiment, the alignment system 24a is used, for example, to measure positions of the alignment marks on the wafer W1 held on the wafer stage WS1 and



the reference marks formed on the fiducial mark plate FM1. The alignment system 24b is used, for example, to measure positions of the alignment marks on the wafer W2 held on the wafer stage WS2 and the reference marks formed on the fiducial mark plate FM2.

The information, which is obtained and supplied from the respective alignment sensors for constructing the alignment systems 24a, 24b, is subjected to A/D conversion by the aid of an alignment control unit 80 to obtain a digital waveform signal which is computed and processed to detect the mark position. An obtained result is supplied to a main control unit 90 which serves as the controller. The main control unit 90 instructs the stage control unit to perform, for example, correction for the synchronization position during the exposure depending on the obtained result.

Further, in the exposure apparatus 10 according to the first embodiment of the present invention, although not shown in FIG. 1, a pair of reticle alignment microscopes 142, 144 are provided over the reticle R as shown in FIG. 5. Each of the reticle alignment microscopes 142, 144 comprises a TTR (Through The Reticle) alignment optical system based on the use of an exposure wavelength for simultaneously observing the reticle mark (not shown) on the reticle R and the marks on the fiducial mark plates FM1, FM2 via the projection optical system PL. Detection signals obtained by using the reticle alignment microscopes 142, 144 are supplied to the main control unit 90. In this embodiment, polarizing mirrors 146, 148 for introducing detected light beams from the reticle R into the reticle alignment microscopes 142, 144 respectively are movably arranged. When the exposure sequence is started, the polarizing mirrors 146, 148 are retracted by means of unillustrated mirror-driving units in accordance with the command supplied from the main control unit 90 respectively. A system equivalent to the reticle alignment microscopes 142, 144 is disclosed, for example, in Japanese Laid-Open Patent Publication No. 7-176468, corresponding to U.S. Pat. No. 5,646,413 of which detailed explanation will be omitted herein.

Although not shown in FIG. 1, autofocus/autoleveling measuring mechanisms (hereinafter referred to as "AF/AL system") 130, 132, 134 for investigating the focusing position are provided for the projection optical system PL and the alignment systems 24a, 24b respectively as shown in FIG. 4. Among them, the AF/AL system 132 as a second detecting system is provided to detect whether or not the exposure surface of the wafer w coincides with (focuses with) the image plane of the projection optical system PL within a range of the depth of focus, because it is necessary that the pattern formation plane on the reticle R is conjugate to the exposure surface of the

wafer W in relation to the projection optical system PL in order to accurately transfer the pattern on the reticle R onto the wafer (W1 or W2) by means of scanning exposure. In the first embodiment of the present invention, a so-called multi-point AF system is used as the AF/AL system 132. The AF/AL system is disclosed in U.S. Pat. No. 5,502,311, the disclosure of which is herein incorporated by reference.

Now, detailed arrangement of the multi-point AF system for constructing the AF/AL system 132 will be explained with reference to FIGS. 5 and 6. As shown in FIG. 5, the AF/AL system (multi-point AF system) 132 comprises an irradiating optical system 151 including a bundle of optical fibers 150, a light-collecting lens 152, a pattern formation plate 154, a lens 156, a mirror 158, and an irradiating objective lens 160; and a light-collecting optical system 161 including a light-collecting objective lens 162, a rotary directional vibration plate 164, an image-forming lens 166, and a light receiving unit 168.

The respective constitutive components of the AF/AL system (multi-point AF system) 132 will be now explained together with their functions. An illumination light beam having a wavelength which is different from that of the exposure light beam EL and at which the photoresist on the wafer W1 (or W2) is not photosensitive is introduced from an unillustrated illumination light source via the optical fiber bundle 150. The illumination light beam radiated from the optical fiber bundle 150 passes through the light-collecting lens 152, and the pattern formation plate 154 is illuminated therewith. The illumination light beam transmitted through the pattern formation plate 154 passes through the lens 156, the mirror 158, and the irradiating objective lens 160, and the illumination light beam is projected onto the exposure surface of the wafer W. The image of the pattern on the pattern formation plate 154 is projected obliquely with respect to the optical axis AX, and the image is formed on the exposure surface of the wafer W1 (or W2). The illumination light beam is reflected by the wafer W1, and it is projected onto the light-receiving surface of the light receiving unit 168 via the light-collecting objective lens 162, the rotary directional vibration plate 164, and the image-forming lens 166. The image of the pattern on the pattern formation plate 154 is formed again on the light receiving surface of the light receiving unit 168. The main control unit 90 is now operated to give predetermined vibration to the rotary directional vibration plate 164 by the aid of a vibrating unit 172. Further, the main control unit 90 is operated to supply, to a signal-processing unit 170, detection signals from a large number of (specifically, the same number as that of slit patterns of the pattern formation plate 154) light-receiving elements of the light-receiving unit 168. The signal-processing unit 170 performs synchronized detection for the respective detection signals by using the driving signal

of the vibrating unit 172 to obtain a large number of focus signals which are supplied to the main control unit 90 via the stage control unit 38.

In this embodiment, as shown in FIG. 6, a slit-shaped aperture pattern 93-11 to 93-59, which comprises, for example,  $5 \times 9 = 45$  individuals, is formed vertically on the pattern formation plate 154. The image of the slit-shaped aperture pattern is projected obliquely (at  $45^\circ$ ) with respect to the X axis and the Y axis, onto the exposure surface of the wafer W. As a result, as shown in FIG. 4, the slit images are formed, which are arranged in matrix, and inclined by  $45^\circ$  with respect to the X axis and the Y axis. Reference symbol IF in FIG. 4 indicates an illumination field on the wafer conjugate to the illumination area on the reticle illuminated by the illumination system. As also clarified from FIG. 4, the detecting beam is radiated onto an area which is two-dimensionally sufficiently larger than the illumination field IF under the projection optical system PL.

The AF/AL systems 130, 134 as first detecting systems are constructed in the same manner as the AF/AL system 132. That is, the first embodiment of the present invention is constructed such that approximately the same area as that for the AF/AL system 132 used to detect the focus during exposure can be also irradiated with the detecting beam by using the AF/AL mechanisms 130, 134 used when the alignment mark is measured. Accordingly, highly accurate alignment measurement can be performed by measuring the position of the alignment mark while executing the autofocus/autoleveling based on the use of the measurement and control of the AF/AL system similar to those performed during exposure, upon measurement by using the alignment sensors based on the use of the alignment systems 24a, 24b. In other words, no offset (error) occurs due to the posture of the stage, between the process of exposure and the process of alignment.

Next, the reticle-driving mechanism will be explained with reference to FIGS. 1 and 2. The reticle-driving mechanism comprises a reticle stage RST which is movable in the XY two-dimensional direction over a reticle base plate 32 while holding the reticle R, an unillustrated linear motor for driving the reticle stage RST, and a reticle interferometer system for managing the position of the reticle stage RST.

The arrangement of the reticle-driving mechanism will be described in further detail below. As shown in FIG. 2, the reticle stage RST is constructed such that two sheets of reticles R1, R2 are placed in series in the scanning direction (Y axis direction). The reticle stage RST is supported in a floating manner over the reticle base plate 32 by the aid of, for example, an unillustrated air bearing. The reticle

stage RST is subjected to fine driving in the X axis direction, minute rotation in the  $\theta$  direction, and scanning driving in the Y axis direction by the aid of a driving mechanism 30 (see FIG. 1) comprising, for example, an unillustrated linear motor. The driving mechanism 30 is a mechanism which uses a linear motor as a driving source similar to the stage apparatus described above. However, the driving mechanism 30 is indicated as a simple block in FIG. 1 for illustrative and explanatory purposes. Accordingly, the reticles R1, R2 on the reticle stage RST are selectively used, for example, upon double exposure, in which each of the reticles can be subjected to scanning in synchronization with the wafer.

A parallel flat plate movement mirror 34, which is composed of the same material (for example, a ceramic) as that of the reticle stage RST, is provided at an end on one side in the X axis direction on the reticle stage RST to extend in the Y axis direction. A refractive surface, which is formed by means of mirror-finish processing, is formed on one side surface of the movement mirror 34 in the X axis direction. An interferometer beam is radiated onto the reflective surface of the movement mirror 34 from the interferometer indicated by the length-measuring axis BI6X for constructing the interferometer system 36 shown in FIG. 1. The reflected light beam is received by the interferometer to measure the relative displacement with respect to the reference plane in the same manner as performed for the wafer stage. Thus, the position of the reticle stage RST is measured. In this embodiment, the interferometer having the length-measuring axis BI6X actually has two interferometer optical axes capable of performing measurement independently, making it possible to measure the position of the reticle stage in the X axis direction and measure the yawing amount. The interferometer having the length-measuring axis BI6X is used to perform synchronization control in the X direction and rotational control of the reticle stage RST in the direction to cancel the relative rotation (rotational error) between the reticle and the wafer on the basis of the information on the X position and the information on the yawing of the wafer stages WS1, WS2 supplied from the interferometers 16, 18 having length-measuring axes BI1X, BI2X disposed on the wafer stage side as described later on.

On the other hand, a pair of corner cube mirrors 35, 37 are installed on the other side (front side in the plane of the paper in FIG. 1) of the reticle stage RST in the Y axis direction as the scanning direction. Interferometer beams, which are represented by length-measuring axes BI7Y, BI8Y in FIG. 2, are radiated from a pair of unillustrated double-path interferometers to the corner cube mirrors 35, 37. The beams are returned to the reflective surface of the reticle base plate 32 by the corner cube mirrors 35, 37. The respective reflected light beams reflected thereby return



via the same optical paths, and they are received by the respective double-path interferometers. Thus, the relative displacements of the respective corner cube mirrors 35, 37 are measured with respect to the reference position (the reflective surface on the reticle base plate 32 as the reference position). Measured values obtained by the double-path interferometers are supplied to the stage control unit 38 shown in FIG. 1 to obtain an average value thereof on the basis of which the position of the reticle stage RST in the Y axis direction is measured. The information on the position in the Y axis direction is used for calculation of the relative position between the reticle stage RST and the wafer stage WS1 or WS2 on the basis of the measured value obtained by the interferometer disposed on the wafer side and having the length-measuring axis BI3Y. Further, the information is used for synchronization control between the reticle and the wafer in the scanning direction (Y axis direction) during the scanning exposure based thereon.

That is, in the first embodiment of the present invention, the reticle interferometer system is constructed by the interferometer 36 and the pair of double-path interferometers represented by the length-measuring axes BI7Y, BI8Y.

Next, an interferometer system for managing the positions of the wafer stages WST1, WST2 will be explained with reference to FIGS. 1 to 3. As shown in FIGS. 1 to 3, the interferometer beam, which is represented by the first length-measuring axis BI1X from the interferometer 16 shown in FIG. 1, is radiated onto the surface of the wafer stage WS1 on one side in the X axis direction along the first axis (X axis) passing through the projection center of the projection optical system PL and the respective detection centers of the alignment systems 24a, 24b. Similarly, the interferometer beam, which is represented by the second length-measuring axis BI2X from the interferometer 18 shown in FIG. 1, is radiated onto the surface of the wafer stage WS2 on the other side in the X axis direction along the first axis. Reflected light beams therefrom are received by the interferometers 16, 18 so as to measure the relative displacements of the respective reflective surfaces from the reference position and measure the positions of the wafer stages WS1, WS2 in the X axis direction. In this embodiment, as shown in FIG. 2, each of the interferometers 16, 18 is a three-axis interferometer having three optical axes, making it possible to perform tilt measurement and  $\theta$  measurement, in addition to the measurement for the wafer stages WS1, WS2 in the X axis direction. Output values for the respective optical axes can be independently measured. In this embodiment, unillustrated  $\theta$  stages for performing 0 rotation for the wafer stages WS1, WS2, and Z-leveling stages RS1, RS2 as substrate-driving systems for performing minute driving and driving for inclination in the Z axis direction are actually disposed under the reflective surfaces

(20-23). Accordingly, all of the driving amounts concerning tilt control of the wafer stages can be monitored by using the interferometers 16, 18 (substrate-driving system).

The respective interferometer beams represented by the first length-measuring axis BI1X and the second length-measuring axis BI2X always hit the wafer stages WS1, WS2 in the all regions of the movement range of the wafer stages WS1, WS2. Therefore, as for the X axis direction, the positions of the wafer stages WS1, WS2 are managed on the basis of measured values obtained by using the first length-measuring axis BI1X and the second length-measuring axis BI2X at any time of, for example, the exposure based on the use of the projection optical system PL and the use of the alignment systems 24a, 24b.

As shown in FIGS. 2 and 3, the projection exposure apparatus is provided with an interferometer having a third length-measuring axis BI3Y perpendicularly intersecting the first axis (X axis) at the projection center of the projection optical system PL, and interferometers having length-measuring axes BI4Y, BI5Y respectively as fourth length-measuring axes perpendicularly intersecting the first axis (X axis) at the respective detection centers of the alignment systems 24a, 24b. However, only the length-measuring axes are shown in the drawings.

In the case of the first embodiment of the present invention, the measured values obtained by using the interferometer having the length-measuring axis BI3Y passing through the projection center of the projection optical system, i.e., the optical axis AX are used to measure the positions of the wafer stages WS1, WS2 in the Y direction during the exposure based on the use of the projection optical system PL. The measured value obtained by using the length-measuring axis BI4Y passing through the detection center of the alignment system 24a, i.e., the optical axis SX is used to measure the position of the wafer stage WS1 in the Y direction during the use of the alignment system 24a. The measured value obtained by using the length-measuring axis BI5Y passing through the detection center of the alignment system 24b, i.e., the optical axis SX is used to measure the position of the wafer stage WS2 in the Y direction during the use of the alignment system 24b.

Therefore, the length-measuring axis of the interferometer in the Y direction is deviated from the reflective surface of the wafer stage WS1, WS2 depending on the respective conditions of use. However, at least one of the length-measuring axes, i.e., the length-measuring axes BI1X, BI2X are not deviated from the reflective surfaces of the respective wafer stages WS1, WS2. Accordingly, it is possible to



reset the interferometer on the Y side at an appropriate position at which the optical axis of the interferometer to be used enters the reflective surface. The method for resetting the interferometer will be described in detail later on.

The respective interferometers having the length-measuring axes BI3Y, BI4Y, BI5Y for Y measurement are two-axis interferometers each having two optical axes. They are capable of performing tilt measurement in addition to the measurement in the Y axis direction for the wafer stages WS1, WS2. Output values concerning the respective optical axes can be measured independently.

In the first embodiment of the present invention, the interferometer system for managing the two-dimensional coordinate positions of the wafer stages WS1, WS2 is constructed by the five interferometers in total including the interferometers 16, 18 and the three interferometers having the length-measuring axes BI3Y, BI4Y, BI5Y.

In the first embodiment of the present invention, the exposure sequence is executed on one of the wafer stages WS1, WS2, while the wafer exchange/wafer alignment sequence is executed on the other of the wafer stages WS1, WS2 as described later on. During this process, in order not to cause any interference between the both stages, the movement of the wafer stages WS1, WS2 is managed by the stage control unit 38 in accordance with the command given by the main control unit 90 on the basis of the output values obtained by the respective interferometers.

Further, the main control unit 90 shown in FIG. 1 is provided with a memory 91 as a storing device in which, for example, a conditional expression (for example, for interference condition) is stored for managing the movement of the wafer stages WS1, WS2.

Next, the illumination system will be explained with reference to FIG. 1. As shown in FIG. 1, the illumination system comprises, for example, an exposure light source 40, a shutter 42, a mirror 44, beam expanders 46, 48, a first fly's eye lens 50, a lens 52, a vibration mirror 54, a lens 56, a second fly's eye lens 58, a lens 60, a fixed blind 62, a movable blind 64, and relay lenses 66, 68.

The respective components of the illumination system will now be explained together with their functions. A laser beam is radiated from the light source unit 40 composed of a KrF excimer laser as a light source and a light-reducing system (for example, a light-reducing plate, an aperture diaphragm). The laser beam passes through the shutter 42, and then it is polarized by the mirror 44, followed by being

shaped to have an appropriate beam diameter by means of the beam expanders 46, 48. The laser beam comes into the first fly's eye lens 50. The light beam coming into the first fly's eye lens 50 is divided into a plurality of light beams by elements of the fly's eye lens arranged two-dimensionally. The respective light beams come into the second fly's eye lens 58 again at different angles respectively by the aid of the lens 52, the vibration mirror 54, and the lens 56. The light beam outgoing from the second fly's eye lens 58 passes through the lens 60, and it arrives at the fixed blind 62 installed at a position conjugate to the reticle R. At this position, the light beam is defined to have a predetermined cross-sectional configuration, and it passes through the movable blind 64 disposed at a position slightly de-focused from the conjugate plane of the reticle R. The light beam passes through the relay lenses 66, 68, and it is used as a uniform illumination light beam to illuminate a predetermined shape, i.e., a rectangular slit-shaped illumination area IA (see FIG. 2) on the reticle R defined by the fixed blind 62.

Next, the control system will be explained with reference to FIG. 1. The control system centers the main control unit 90, as a controller, for controlling and supervising the entire apparatus, and it comprises, for example, the exposure amount control unit 70 and the stage control unit 38 which are under the control of the main control unit 90.

Explanation will now be made mainly for the operations of the respective constitutive components of the control system as well as the operation of the projection exposure apparatus 10 according to the first embodiment of the present invention during the exposure. Prior to the start of the synchronized scanning for the reticle R and the wafer (W1 or W2), the exposure amount control unit 70 instructs a shutter-driving unit 72 to drive a shutter-driving unit 74 so that the shutter 42 is opened.

After that, the stage control unit 38 starts synchronized scanning (scan control) for the reticle R and the wafer (W1 or W2), i.e., the reticle stage RST and the wafer stage (WS1 or WS2) in accordance with the instruction given by the main control unit 90. The synchronized scanning is performed by controlling the respective linear motors for constructing the reticle-driving unit 30 and the driving system for the wafer stages by using the stage control unit 38 while monitoring the measured values obtained by the length-measuring axis BI3Y and the length-measuring axis BI1X or BI2X of the interferometer system and the length-measuring axes BI7Y, BI8Y and the length-measuring axis BI6X of the reticle interferometer system.

At the point of time at which the both stages have been subjected to constant velocity control within a predetermined allowable range, the exposure amount control unit 70 instructs a laser control unit 76 to start pulse light emission. Accordingly, the rectangular illumination area IA on the reticle R, on which a pattern is chromium vapor-deposited on its lower surface, is illuminated with the illumination light beam emitted from the illumination system. The image of the pattern in the illumination area is reduced 1/5-fold by the aid of the projection optical system PL, and it is projected for exposure onto the wafer (W1 or W2) applied with a photoresist on its surface. In this embodiment, as also clarified from FIG. 2, the slit width of the illumination area IA in the scanning direction is narrow as compared with the pattern area on the reticle. The image of the entire surface of the pattern is successively formed on the shot area SA on the wafer by performing synchronized scanning for the reticle R and the wafer (W1 or W2) as described above.

Simultaneously with the start of the pulse light emission described above, the exposure amount control unit 70 instructs a mirror-driving unit 78 to vibrate the vibration mirror 54 so that the vibration of the vibration mirror is continuously performed until the pattern area on the reticle R completely passes over the illumination area IA (see FIG. 2), i.e., until the image on the entire surface of the pattern is formed on the shot area on the wafer. Thus, the non-uniformity of interference fringe is reduced, which would be otherwise produced on account of the two fly's eye lenses 50, 58. The structure and the controlling method of the vibration mirror are disclosed in U.S. Pat. No. 5,534,970, the disclosure of which is herein incorporated by reference.

The movable blind 64 is driven and controlled by the blind control unit 39 in synchronization with the scanning for the reticle R and the wafer W so that the illumination light does not leak out to the outside of the shielding area on the reticle at the shot edge portion during the scanning exposure. The series of synchronized operations are managed by the stage control unit 38.

In relation to the pulse light emission effected by the laser control unit 76 described above, it is necessary to emit light n times (n is a positive integer) during a period in which an arbitrary point on the wafer W1, W2 passes over the width (w) of the illumination field. Therefore, it is necessary to satisfy the following expression (1) provided that the oscillation frequency is f, and the wafer scanning velocity is V. The control of the pulse light emission is disclosed in U.S. Pat. No. 5,591,958, the disclosure of which is herein incorporated by reference.

$$f/n = V/w \dots(1)$$

Further, it is necessary to satisfy the following expression (2) provided that the radiation energy of one pulse radiated onto the wafer is P, and the resist sensitivity is E.

$$nP = E \dots (2)$$

As described above, the exposure amount control unit 70 is constructed such that computing operation is performed for all variable quantities of the radiation energy P and the oscillation frequency f to give a command to the laser control unit 76 so that the light-reducing system provided in the exposure light source 40 is controlled. Thus, the radiation energy P and the oscillation frequency f are varied, and the shutter-driving unit 72 and the mirror-driving unit 78 are controlled.

Further, for example, when correction is made for the movement start positions (synchronization positions) of the reticle stage and the wafer stage to be subjected to the synchronized scanning during the scanning exposure, the main control unit 90 instructs the stage control unit 38 which controls the movement of the respective stages to make correction for the stage position corresponding to an amount of correction.

The projection exposure apparatus according to the first embodiment of the present invention further comprises a first transport system for performing wafer exchange between itself and the wafer stage WS1, and a second transport system for performing wafer exchange between itself and the wafer stage WS2.

As shown in FIG. 7, the first transport system performs wafer exchange as described later on between itself and the wafer stage WS1 disposed at a wafer loading position on the left side. The first transport system comprises a first wafer loader including, for example, a first loading guide 182 which extends in the Y axis direction, first and second sliders 186, 190 which are movable along the loading guide 182, a first unload arm 184 which is attached to the first slider 186, and a first load arm 188 which is attached to the second slider 190, and a first center-up 180 including three vertically movable members provided on the wafer stage WS1.

The operation of wafer exchange effected by the first transport system will now be briefly explained. As shown in FIG. 7, explanation will be made for a case in which the wafer W1' placed on the wafer stage WS1 disposed at the wafer loading position on the left side is exchanged with the wafer W1 transported by the first wafer loader.

At first, the main control unit 90 is operated to turn-off vacuum attraction effected by the unillustrated wafer holder on the wafer stage WS1 by the aid of an unillustrated switch so that attraction for the wafer W1' is de-energized.

Next, the main control unit 90 is operated to drive and raise the center-up 180 by a predetermined amount by the aid of an unillustrated center-up-driving system. Accordingly, the wafer W1' is lifted up to a predetermined position. In this state, the main control unit 90 instructs an unillustrated wafer loader control unit to move the first unload arm 184. Accordingly, the first slider 186 is driven and controlled by the wafer loader control unit. The first unload arm 184 is moved to a position over the wafer stage WS1 along the loading guide 182, and it is located at the position just under the wafer W1'.

In this state, the main control unit 90 is operated to downwardly drive the center-up 180 to a predetermined position. During the downward movement of the center-up 180, the wafer W1' is transmitted to and received by the first unload arm 184. Therefore, the main control unit 90 instructs the wafer loader control unit to start vacuum attraction for the first unload arm 184. Accordingly, the wafer W1' is attracted and held by the first unload arm 184.

Next, the main control unit 90 instructs the wafer loader control unit to start retraction of the first unload arm 184 and movement of the first load arm 188. Accordingly, the first unload arm 184 starts movement in the -Y direction in FIG. 7 integrally with the first slider 186, simultaneously with which the second slider 190 starts movement in the +Y direction integrally with the first load arm 188 which holds the wafer W1. When the first load arm 188 arrives at a position over the wafer stage WS1, the wafer loader control unit stops movement of the second slider 190, and the vacuum attraction for the first load arm 188 is de-energized.

In this state, the main control unit 90 is operated to upwardly drive the center-up 180. Thus, the underlying center-up 180 is allowed to lift up the wafer W1. Next, the main control unit 90 instructs the wafer loader control unit to retract the load arm. Accordingly, the second slider 190 starts movement in the -Y direction integrally with the first load arm 188, and the first load arm 188 is retracted. Simultaneously with the start of retraction of the first load arm 188, the main control unit 90 starts downward driving for the center-up 180. Thus, the wafer W1 is placed on the unillustrated wafer holder on the wafer stage WS1, and vacuum attraction effected by the wafer holder is turned on. Accordingly, a series of sequence for wafer exchange is completed.



Similarly, as shown in FIG. 8, a second transport system performs wafer exchange in the same manner as described above between itself and the wafer stage WS2 disposed at a wafer loading position on the right side. The second transport system comprises a second wafer loader including, for example, a second loading guide 192 which extends in the Y axis direction, third and fourth sliders 196, 200 which are movable along the second loading guide 192, a second unload arm 194 which is attached to the third slider 196, and a second load arm 198 which is attached to the fourth slider 200, and an unillustrated second center-up provided on the wafer stage WS2.

Next, explanation will be made with reference to FIGS. 7 and 8 for the concurrent or parallel process based on the use of the two wafer stages, which is the feature of the first embodiment of the present invention. FIG. 7 shows a plan view of a state in which the wafer is exchanged between the wafer stage WS1 and the first transport system as described above at the left loading position, during the period in which the exposure operation is performed for the wafer W2 on the wafer stage WS2 by the aid of the projection optical system PL. In this process, after performing the wafer exchange, the alignment operation is continuously performed on the wafer stage WS1 as described later on. In FIG. 7, the position of the wafer stage WS2 during the exposure operation is controlled on the basis of measured values obtained by using the length-measuring axes BI2X, BI3Y of the interferometer system. The position of the wafer stage WS1, on which the wafer exchange and the alignment operation are performed, is controlled on the basis of measured values obtained by using the length-measuring axes BI1X, BI4Y of the interferometer system.

At the left loading position shown in FIG. 7, the arrangement is made such that the reference mark on the fiducial mark plate FM1 of the wafer stage WS1 is disposed just under the alignment system 24a (See FIG. 19A). Accordingly, the main control unit 90 carries out reset for the interferometer having the length-measuring axis BI4Y of the interferometer system prior to the measurement of the reference mark on the fiducial mark plate FM1, performed by using the alignment system 24a.

FIG. 19B shows an example of the reference mark MK2 and a situation of image pick-up for detecting the reference mark MK2 by using the sensor of the FIA system of the alignment system 24a. In FIG. 19B, a symbol Sx indicates an image pick-up range for CCD. A cross-shaped mark indicated by a symbol M indicates an index included in the sensor of the FIA system. In this drawing, only the image



pick-up range in the X axis direction is depicted. However, actually, it is a matter of course that a similar image pick-up procedure is also executed in the Y direction.

FIG. 19C shows a waveform signal obtained by using an image processing system included in the alignment control unit 80 when the image of the mark MK2 shown in FIG. 19B is picked up by using the sensor of the FIA system. The alignment control unit 80 analyzes the waveform signal to detect the position of the mark MK2 on the basis of the index center. The main control unit 90 calculates the coordinate position of the mark MK2 on the fiducial mark plate FM1 in a coordinate system (hereinafter referred to as "first stage coordinate system", if necessary) based on the use of the length-measuring axes BI1X, BI4Y, on the basis of the position of the mark MK2 and the result of measurement effected by using the length-measuring axes BI1X, BI4Y.

Search alignment is performed continuously after the wafer exchange and the reset for the interferometer described above. The search alignment, which is performed after the wafer exchange, is pre-alignment performed again on the wafer stage WS1, because the positional error is large if pre-alignment is performed during only the period of transport of the wafer W1. Specifically, positions of three search alignment marks (not shown), which are formed on the wafer W1 placed on the stage WS1, are measured by using, for example, the sensor of the LSA system of the alignment system 24a. Positional adjustment is performed for the wafer W1 in the X, Y,  $\theta$  directions on the basis of obtained results of the measurement. During the search alignment, the operations of the respective components are controlled by the main control unit 90.

After completion of the search alignment, fine alignment is performed to determine the arrangement of the respective shot areas on the wafer W1 by using EGA in this embodiment. The method of EGA is disclosed in U.S. Pat. No. 4,780,617, the disclosure of which is incorporated herein by reference. Specifically, positions of the alignment marks of predetermined sample shots on the wafer W1 are measured by using, for example, the sensor of the FIA system of the alignment system 24a while successively moving the wafer stage WS1 on the basis of designed shot array data (data on alignment mark positions), while managing the position of the wafer stage WS1 by using the interferometer system (length-measuring axes BI1X, BI4Y). All shot array data are computed in accordance with statistical operation based on the least square method on the basis of obtained results of the measurement and the designed coordinate data on the shot array. During the process of EGA, the

operations of the respective components are controlled by the main control unit 90. The computing operation described above is performed by the main control unit 90.

The main control unit 90 calculates the relative positional relationship for the respective shots with respect to the mark MK2 by subtracting the coordinate position of the reference mark MK2 from the coordinate positions of the respective shots.

As described above, in the case of the first embodiment of the present invention, the position of the alignment mark is measured while executing autofocus/autoleveling based on the measurement and control effected by the AF/AL system 132 (see FIG. 4) in the same manner as performed during the exposure, during the measurement performed by the alignment system 24a. Thus, it is possible to avoid occurrence of any offset (error) which would be otherwise caused between the process of alignment and the process of exposure, due to the posture of the stage.

During the period in which the wafer exchange and the alignment operation are performed for the wafer stage WS1 as described above, double exposure is performed for the wafer stage WS2 in a continuous manner in accordance with the step-and-scan system while changing the exposure condition by using two reticles R1, R2 as shown in FIG. 9.

Specifically, the relative positional relationship for the respective shots with respect to the mark MK2 has been previously calculated in the same manner as performed for the wafer W1. The shot areas on the wafer W2 are successively positioned under the optical axis of the projection optical system PL, on the basis of obtained results of the calculation and results of detection of relative positions of the marks MK1, MK3 on the fiducial mark plate FM1 and projected images on the wafer surface, of the marks RMK1, RMK3 on the reticle corresponding thereto based on the use of the reticle alignment microscopes 144, 142 (this process will be described in detail later on), while the reticle stage RST and the wafer stage WS2 are subjected to synchronized scanning in the scanning direction every time when each of the shot areas is subjected to exposure. Thus, the scanning exposure is carried out.

The exposure for all of the shot areas on the wafer W2 as described above is also continuously performed after the reticle exchange. Specifically, the exposure procedure of the double exposure proceeds in the following order as shown in FIG. 10A. That is, the respective shot areas on the wafer W1 are successively subjected to scanning exposure from A1 to A12 by using the reticle R2 (pattern A). After that, the reticle stage RST is moved in a predetermined amount in the scanning direction by

using the driving system 30 to set the reticle R1 (pattern B) at the exposure position. Thereafter, scanning exposure is performed in an order from B1 to B12 as shown in FIG. 10B. In this procedure, the exposure condition (AF/AL, exposure amount) and the transmittance differ between the reticle R2 and the reticle R1. Therefore, it is necessary that the respective conditions are measured during the reticle alignment, and the conditions are changed depending on obtained results. The operations of the respective components during the double exposure for the wafer W2 are also controlled by the main control unit 90.

The exposure sequence and the wafer exchange/alignment sequence are concurrently performed in parallel on the two wafer stages WS1, WS2 shown in FIG. 7 described above. In this process, the wafer stage of the two wafer stages WS1, WS2, on which the operation has been firstly completed, takes a waiting state. At the point of time at which the operations for the both have been completed, the wafer stages WS1, WS2 are controlled and moved to the positions shown in FIG. 8 respectively. The wafer W2 on the wafer stage WS2, for which the exposure sequence has been completed, is subjected to wafer exchange at the right loading position. The wafer W1 on the wafer stage WS1, for which the alignment sequence has been completed, is subjected to the exposure sequence under the projection optical system PL.

At the right loading position shown in FIG. 8, the reference mark MK2 on the fiducial mark plate FM2 is positioned under the alignment system 24b in the same manner as operated for the left loading position. The wafer exchange operation and the alignment sequence are executed as described above. Of course, the reset operation for the interferometer having the length-measuring axis BI5Y of the interferometer system has been executed prior to the detection of the mark MK2 on the fiducial mark plate FM2 effected by the alignment system 24b.

Next, explanation will be made for the reset operation for the interferometer, performed by the main control unit 90 during the change from the state shown in FIG. 7 to the state shown in FIG. 8. After the alignment is performed at the left loading position, the wafer stage WS1 is moved to the position at which the reference mark (See FIG. 20A) on the fiducial plate FM1 comes just under the center (projection center) of the optical axis AX of the projection optical system PL shown in FIG. 8. During this movement, the interferometer beam for the length-measuring axis BI4Y does not come into the reflective surface 21 of the wafer stage WS1. Therefore, it is difficult to move the wafer stage to the position shown in FIG. 8 immediately after

completion of the alignment. For this reason, in the first embodiment of the present invention, the following artifice is conceived.

That is, as explained above, the first embodiment of the present invention lies in the setting in which the fiducial mark plate FM1 comes just under the alignment system 24a when the wafer stage WS1 is disposed at the left loading position. The interferometer having the length-measuring axis BI4Y is reset at this position. Therefore, the wafer stage WS1 is once returned to this position. The wafer stage WS1 is moved from the position rightwardly in the X axis direction by a distance BL while monitoring the measured value obtained by using the interferometer 16 having the length-measuring axis BI1X for which the interferometer beam is not intercepted, on the basis of the previously known distance (conveniently referred to as "BL") between the detection center of the alignment system 24a and the center (projection center) of the optical axis of the projection optical system PL. Accordingly, the wafer stage WS1 is moved to the position shown in FIG. 8.

As shown in FIG. 20A, the main control unit 90 is operated to detect the relative positions of the marks MK1, MK3 on the fiducial mark plate FM1 and projected images on the wafer surface, of the marks RMK1, RMK3 on the reticle corresponding thereto, based on the use of the exposure light beam by using the reticle alignment microscopes 144, 142.

As mentioned above, the Reticle Mark RMK1 and RMK3 might generally correspond to or are positioned adjacent to MK1 and MK3, as shown in FIG. 20A, because the wafer stage WS1 was moved using the known value BL.

FIG. 20B shows the projected image on the wafer surface, of the mark RMK (RMK1, RMK2) on the reticle R. FIG. 20C shows the mark MK (MK1, MK3) on the fiducial mark plate. FIG. 20D shows a situation of image pick-up for simultaneously detecting the projected image on the wafer surface, of the mark RMK (RMK1, RMK2) on the reticle R and the mark MK (MK1, MK3) on the fiducial mark plate, by using the reticle alignment microscope 144, 142, in the state shown in FIG. 20A. In FIG. 20D, a symbol SRx indicates an image pick-up range for CCD which constructs the reticle alignment microscope. FIG. 20E shows a waveform signal obtained by processing the image picked up as described above by the aid of an unillustrated image processing system.

The shapes of the reticle mark RMK shown in FIG. 20B and the mark MK shown in FIG. 20C are only examples and they may be in any shape. As shown in

FIG. 21, MK2 is arranged so as to be positioned in the mid of MK1 and MK3 on the fiducial plate FM, and a distance between MK1 and MK3 is adjusted so as to correspond to a distance between the mark RMK1 and the mark RMK2 when these marks are observed by the reticle alignment microscope. FIG. 20D shows a state in which the reticle alignment mark RMK is just positioned in the center of the mark MK of the fiducial plate.

The main control unit 90 resets the interferometer having the length-measuring axis BI3Y prior to the pick-up of the waveform signal. The reset operation can be executed at the point of time at which the length-measuring axis to be used next is available to radiate the side surface of the wafer stage.

Accordingly, the coordinate positions of the marks MK1, MK3 on the fiducial mark plate FM1, and the coordinate positions of the marks RMK on the reticle R projected on the wafer surface are detected in the coordinate system (second stage coordinate system) based on the use of the length-measuring axes BI1X, BI3Y.

For example, when the mark MK1 (and the mark MK3) are observed by the alignment microscope, the measured value of the wafer stage WS1 in the second stage coordinate system is (X1, Y1), and the relative position of mark MK1 to the position of the reticle alignment mark RMK1 and the relative position of mark MK1 to a projected position of reticle alignment mark RMK3 are detected by the alignment microscope. Here, the center position of the two images obtained by projecting the mark RMK1 and RMK3 on the reticle R means the exposure position of the reticle pattern, i.e. the projection center of the projection optical system. Further, MK2 is positioned in the middle of the mark MK1 and MK3. Therefore, relative positions of the exposure position of the reticle pattern and the mark MK2 of the substrate plate FM can be determined by calculation, when the wafer stage WS1 is on (X1, Y1).

The main control unit 90 finally calculates the relative positional relationship between the exposure position and each of the shots in accordance with the previously determined relative positional relationship of each of the shots with respect to the mark MK2 on the fiducial mark plate FM1, and the relative relationship between the exposure position and the coordinate position of the mark MK1, MK3 on the fiducial mark plate FM1. Depending on an obtained result, the respective shots on the wafer W1 are subjected to the exposure as shown in FIG. 21.

The reason why the highly accurate alignment can be performed even when the reset operation is performed for the interferometer as described above is as follows.



That is, the spacing distance between the reference mark and the imaginary position calculated in accordance with the measurement of the wafer mark is calculated by using the identical sensor by measuring the reference mark on the fiducial mark plate FM1 by means of the alignment system 24a, and then measuring the alignment mark on each of the shot areas on the wafer W1. At this point of time, the relative distance between the reference mark and the position to be subjected to exposure is determined. Accordingly, if the correspondence between the exposure position and the reference mark position is established before the exposure by using the reticle alignment microscopes 142, 144, it is possible to perform the highly accurate exposure operation by adding the relative distance to the obtained value, even when the interferometer beam for the interferometer in the Y axis direction is intercepted during the movement of the wafer stage, and the reset is performed again.

The reference marks MK1 to MK3 always exist on the identical fiducial plate. Therefore, if the drawing error is determined beforehand, only the management for the offset is required, and there is no variable factor. There is a possibility that the RMK1, RMK2 also involve any offset due to any drawing error of the reticle. However, such a situation may be also dealt with by means of only the offset management, if the drawing error is reduced by using a plurality of marks during the reticle alignment, or if the drawing error of the reticle mark is measured beforehand, as disclosed, for example, in Japanese Laid-Open Patent Publication No. 5-67271.

When the length-measuring axis BI4Y is not intercepted during the period of movement of the wafer stage WS1 from the alignment completion position to the position shown in FIG. 8, it is a matter of course that the wafer stage may be linearly moved to the position shown in FIG. 8 immediately after completion of the alignment while monitoring the measured values obtained by using the length-measuring axes BI1X, BI4Y. In this case, it is preferable to perform the reset operation for the interferometer at any point of time at or after the point of time at which the length-measuring axis BI3Y passing through the optical axis AX of the projection optical system PL overlaps the reflective surface 21 of the wafer stage WS1 perpendicular to the Y axis, and before the detection of the relative positions of the marks MK1, MK3 on the fiducial mark plate FM1 and the projected images on the wafer, of the marks RMK1, RMK3 on the reticle corresponding thereto based on the use of the reticle alignment microscopes 144, 142.

The wafer stage WS2 may be moved from the exposure completion position to the right loading position shown in FIG. 8 in the same manner as described above to



perform the reset operation for the interferometer having the length-measuring axis BI5Y.

Alternatively, FIG. 11 shows an example of the timing of the exposure sequence for successively exposing the respective shot areas on the wafer W1 held on the wafer stage WS1. FIG. 12 shows the timing of the alignment sequence for the wafer W2 held on the wafer stage WS2, performed concurrently in parallel thereto. In the first embodiment of the present invention, the exposure sequence and the wafer exchange/alignment sequence are concurrently performed in parallel to one another for the wafers W1, W2 held on the respective wafer stages while independently moving the two wafer stages WS1, WS2 in the two-dimensional direction so that the throughput is improved.

However, when the two operations are dealt with concurrently in parallel to one another by using the two wafer stages, the operation performed on one of the stages affects, as a disturbance factor, the operation performed on the other wafer stage in some cases. On the contrary, some of the operations performed on one of the wafer stages do not affect the operations performed on the other wafer stage. Thus, in the first embodiment of the present invention, the operations performed concurrently in parallel are divided into the operations which correspond to the disturbance factor, and the operations which do not correspond to the disturbance factor. Further, the timings of the respective operations are adjusted so that the operations which correspond to the disturbance factor are mutually performed simultaneously, or the operations which do not correspond to the disturbance factor are mutually performed simultaneously.

For example, during the scanning exposure, the synchronized scanning for the wafer W1 and the reticle R is performed at constant velocities, in which no disturbance factor is included. Further, it is necessary to exclude any external disturbance factor as less as possible. Therefore, during the scanning exposure performed on one of the wafer stages WS1, the timing is adjusted to give a stationary state in the alignment sequence effected for the wafer W2 on the other wafer stage WS2. That is, the measurement of the mark in the alignment sequence is performed in a state in which the wafer stage WS2 is allowed to stand still at the mark position. Therefore, the measurement of the mark is not the disturbance factor for the scanning exposure. Thus, it is possible to perform the measurement of the mark concurrently with the scanning exposure in parallel. In this context, with reference to FIGS. 11 and 12, it is understood that the scanning exposure effected for the wafer W1 indicated by the operation numbers of "1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17, 19, 21, 23" shown

in FIG. 11 is performed in a mutually synchronized manner with respect to the mark measurement operation effected at the respective alignment mark positions for the wafer W2 indicated by the operation numbers of "1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17, 19, 21, 23" shown in FIG. 12. On the other hand, in the case of the alignment sequence, the constant velocity movement is also performed during the scanning exposure. Therefore, no disturbance occurs, and it is possible to perform the measurement highly accurately.

The same situation as that described above is also considered for the wafer exchange. Especially, for example, any vibration, which is generated when the wafer is transmitted from the load arm to the center-up, may serve as a disturbance factor. Therefore, the wafer may be transmitted in conformity with acceleration or deceleration (which may serve as a disturbance factor) before or after the synchronized scanning is performed at a constant velocity. The timing adjustment described above is performed by using the main control unit 90.

Next, explanation will be made for the method for performing the focus/leveling control during the exposure. In the projection exposure apparatus 10 according to the first embodiment of the present invention, AF measurement is performed for the wafer during the alignment by using the AF/AL system 130 provided for the alignment system 24a, or by using the AF/AL system 134 provided for the alignment system 24b. The focus/leveling control is performed during the exposure on the basis of obtained results of the measurement described above and results of AF measurement for the wafer by using the AF/AL system 132 provided for the projection optical system PL.

As described above, the order of exposure for the respective shot areas on the wafer W is determined, for example, by respective parameters of (1) to (4), i.e., (1) acceleration and deceleration times during scanning, (2) adjustment time, (3) exposure time, and (4) stepping time to adjacent shot. However, in general, the acceleration and the deceleration give the rate-determining condition. Therefore, it is most efficient that scanning is performed in an alternate manner for the wafer in the  $\pm Y$  direction (the adjacent shots are successively subjected to scanning exposure in the X direction shown in FIG. 13), when the two-shot stepping effected by the vertical stepping (stepping in the Y direction shown in FIG. 13) is not performed.

FIG. 13 shows the order of exposure for the shot area 210 on the wafer W1, determined as described above. FIG. 13 represents an example in which all shot arrays are included in the wafer W1.

The complete pre-measurement control as described in Japanese Laid-Open Patent Publication No. 6-283403 corresponding to U.S. Pat. No. 5,448,332 is also performed in the embodiment of the present invention prior to the exposure for the respective shot areas. However, when it is intended to perform the exposure in the most efficient exposure order as shown in FIG. 13, AF detecting points appear in some parts, at which it is impossible to perform the measurement (detection) for the surface of the wafer W1, because the AF detecting points for pre-measurement overlap the outer circumference of the wafer W1 at respective positions indicated by symbols A, B, C in FIG. 13. In such a case, it is impossible to perform the complete pre-measurement control described above.

This situation will be described in further detail below. FIGS. 14A, 14B, 14C show magnified plan views respectively illustrating cases in which the AF measurement for pre-measurement is performed at the respective positions shown by the symbols A, B, C in FIG. 13. Actually, for example, the AF detecting points AF1 to AF5 and the exposure area IF conjugate to the illumination area IA on the reticle are fixed, with respect to which the wafer W1 is scanned. However, for convenience, FIGS. 14A, 14B, 14C are illustrated such that the exposure area IF and the AF detecting points are scanned with respect to the wafer surface. Therefore, in the following description, explanation will be made assuming that the direction opposite to the actual scanning direction for the wafer W1 is the scanning direction.

In this embodiment, it is assumed that the AF detecting points AF1 to AF5 as the second detecting system are arranged in the non-scanning direction (lateral direction in the plane of the paper) on one side of the exposure area IF in the scanning direction (vertical direction in the plane of the paper) (see FIG. 14A). Further, it is assumed that the AF detecting points AB1 to AB5 as the second detecting system are arranged in the non-scanning direction on the other side of the exposure area IF in the scanning direction (see FIG. 14B).

In FIG. 14A, when the AF measurement is performed while conducting scanning in the +Y direction, the pre-measurement control cannot be performed, because the detecting points AF1 and AF2 are deviated from the surface of the wafer W1. In the case of FIGS. 14B and C, the pre-measurement control cannot be also performed, because the detecting points (AB1 to AB5, AF4 and AF5) are deviated from the surface of the wafer W1.

In such a situation, the scanning direction has been hitherto inverted so that the scanning (referred to as "internal scanning") is performed from the inside to the outside of the wafer W1 in order that the detecting points are not deviated from the surface of the wafer W1 at the positions of A, B, C described above. However, if the scanning direction is inverted, an inconvenience arises in that the exposure order determined as described above is changed, and consequently the throughput is decreased.

Now, an example of output results (as Z directional position on the surface of the wafer) of an AF system in the state in which the outer edge of the wafer being moved by means of the wafer stage WS is within the detecting portion of the AF system is shown in FIG. 15.

As shown in FIG. 15 (Comparative Example), in order to avoid the decrease in throughput as described above, it is assumed that a method is adopted, in which the AF measurement is started at a point of time D at which the measurement can be performed while all of the AF detecting points (for example AF1 to AF5) for pre-measurement are located on the surface of the wafer, so that the autofocus/autoleveling control (hereinafter referred to as "AF/AL control") is carried out. However, in the case of this method, an error occurs in a region between Point E and Point F which represent the completion of follow-up control, due to delay in phase of AF/AL follow-up. Point E in FIG. 15 indicates the position of completion of follow-up obtained when normal pre-measurement control is performed. As clarified from FIG. 15, it is understood that such AF measurement deteriorates the AF/AL control accuracy.

In consideration of the fact described above, in the first embodiment of the present invention, the AF measurement for the wafer W1 is performed during the alignment prior to the pre-measurement during the wafer exposure, under the same condition as that used in the exposure, by using the AF/AL system 130 provided for the alignment system 24a or by using the AF/AL system 134 provided for the alignment system 24b. Thus, it is intended to avoid deterioration of the AF/AL control accuracy as the error caused by the delay in phase of follow-up control of AF/AL described above. The AF/AL system 130 or the AF/AL system 134 is provided with the AF detecting points (corresponding to AF1 to AF5, see FIG. 14A) and the AF detecting points (corresponding to AB1 to AB5, see FIG. 14B) as the first detecting system capable of executing the AF/AL measurement for the surface of the wafer W1 under the same condition as that provided for the projection optical system PL described above.

That is, as shown in FIG. 16, the wafer W1, which is subjected to the alignment, includes a number of measuring points for EGA, i.e., AL1 to AL6 (six points). In this range, the AF measurement is performed at the measuring points C, A, B in the same direction as that for the exposure sequence. Also in this case, in order to avoid any mutual influence on the operations of the two substrate stages, the stepping operations (operations corresponding to the disturbance factor) are synchronized with each other, or the exposure operation and the alignment operation (operations not corresponding to the disturbance factor) are synchronized with each other, and the stages are moved in an order so that they cause no mutual interference. In this procedure, it is assumed that there is given "exposure time > alignment time + pre-measurement time".

FIG. 17 shows results of measurement at Point A in FIG. 16 for the detecting points AF1 to AF5, obtained by the AF measurement during the alignment which is the feature of the present invention. In FIG. 17, for the purpose of simplified illustration, the wafer surface position is depicted as having the leveling of zero. However, the results for AF1 to AF5 are dispersed in ordinary cases.

In this embodiment, as shown in FIG. 14A, the AF measurement can be normally performed at the detecting points AF4 and AF5. Therefore, the obtained values of the AF measurement also indicate the wafer surface position in FIG. 17. On the contrary, the detecting points AF3, AF2, AF1 gradually indicate the wafer surface position in accordance with the movement in the scanning direction. When the focus measurement for the shot areas in the vicinity of the outer circumference of the wafer is performed beforehand as described above, it is possible to know what measured values are given in the following exposure sequence, for example, at the respective positions of A, B, C in FIG. 16. Accordingly, upon the actual pre-measurement control during the exposure, the position of the wafer is allowed to approach the target position (0) within a range of error concerning reproducibility of the measurement for the wafer surface position as shown in FIG. 18, as compared with the procedure shown in FIG. 15. That is, it is possible to perform quick driving for the focus.

Originally, as described in Japanese Laid-Open Patent Publication No. 6-283403, the follow-up control response in the autofocus lies in a condition under which an amount of 30% of the absolute error can be followed as estimated as primary response. The follow-up completion point F appears earlier (because of an identical allowable value) by decreasing the initial absolute value error. It is possible



to complete the follow-up earlier than at the follow-up completion point E which is given when the normal pre-measurement control is performed.

As explained above, according to the projection exposure apparatus 10 concerning the first embodiment of the present invention, the two stages for holding the wafers are independently moved, and the wafer exchange and alignment operation is performed on one of the stages, while the exposure operation is concurrently performed in parallel on the other stage. The AF measurement for the wafer surface is performed by using the AF/AL system of the alignment system during the alignment. At the point of time at which the both operations are completed, the operations are mutually changed with each other. Therefore, the focus can be quickly driven even for shot areas which are located in the vicinity of the outer circumference of the wafer where the wafer surface is not disposed at the pre-measurement position during the exposure and for which the scanning exposure is performed from the outside to the inside of the wafer, by previously carrying out the focus measurement at the outer circumference of the wafer and using results obtained by the measurement. Thus, it is possible to avoid any delay in follow-up in the pre-measurement control. Therefore, the focus/leveling control can be performed highly accurately. It is unnecessary to adopt the internal scanning even when the shot areas in the vicinity of the outer circumference of the wafer are subjected to scanning exposure from the outside to the inside of the wafer. The respective shot areas can be exposed in the most efficient exposure order. Accordingly, it is possible to improve the throughput.

The AF measurement during the alignment is performed while conducting the scanning in the same direction as that for the scanning exposure for the shot areas located at the outer circumference of the wafer. Therefore, it is possible to perform the focus control which is free from, for example, the offset depending on, for example, the movement direction of the stage.

According to the projection exposure apparatus 10 concerning the first embodiment, there are provided the two wafer stages for independently holding the two wafers respectively. The two wafer stages are independently moved in the XYZ directions, wherein the wafer exchange operation and the alignment operation are executed for one of the wafer stages, during which the exposure operation is executed for the other wafer stage. The operations of the both are mutually changed at the point of time at which the both operations are completed. Accordingly, it is possible to greatly improve the throughput.



During the change of the operations described above, the interferometer having the length-measuring axis to be used for the operation after the change is reset, simultaneously with which the measurement sequence is also performed for the fiducial mark plate disposed on the wafer stage. Therefore, no special inconvenience occurs even when the length-measuring axis of the interferometer system is deviated from the reflective surface of the wafer stage (or from the movement mirror, if the movement mirror is separately provided). It is possible to shorten the reflective surface of the wafer stage (or the movement mirror, if the movement mirror is separately provided). Accordingly, it is possible to easily realize miniaturization of the wafer stage. Specifically, the length of one side of the wafer stage can be miniaturized to have a size of a degree which is slightly larger than the diameter of the wafer. Thus, it is possible to easily incorporate, into the apparatus, the two wafer stages which are independently movable. In addition, it is possible to improve the positioning performance for the respective wafer stages.

As for the wafer stage for which the exposure operation is performed, the mark on the fiducial mark plate is measured simultaneously with the reset for the length-measuring interferometer by using the reticle alignment microscope 142, 144 (alignment sensor based on the use of the exposure light beam) by the aid of the projection optical system PL. As for the wafer stage for which the wafer exchange/alignment operation is performed, the mark on the fiducial mark plate is measured simultaneously with the reset for the length-measuring interferometer by using the alignment system 24a or 24b (off-axis alignment sensor). Therefore, it is also possible to change the length-measuring axis of the interferometer for managing the position of the wafer stage during the alignment effected by each of the alignment systems and during the exposure effected by the projection optical system. In this process, the following procedure is adopted. That is, (1) when the mark on the fiducial mark plate is measured by using the alignment system 24a or 24b, the coordinate position of the mark is measured on the first stage coordinate system, (2) the alignment mark of a sample shot on the wafer is thereafter detected to determine the array coordinate (coordinate position for the exposure) of each shot is determined on the first stage coordinate system in accordance with the EGA operation, (3) the relative positional relationship between the mark on the fiducial mark plate and the coordinate position for the exposure of each shot is determined from the results obtained in (1) and (2) described above, (4) the relative positional relationship between the mark on the fiducial mark plate and the coordinate position of those projected from the reticle is detected before the exposure on the second stage coordinate system by the aid of the projection optical system PL by using the reticle alignment microscope 142, 144, and (5) the exposure is performed for each shot by

using (3) and (4) described above. Accordingly, the exposure can be performed highly accurately even in the case of the change of the length-measuring axis of the interferometer for managing the position of the wafer stage. As a result, it is possible to perform the positional adjustment for the wafer without performing the baseline measurement which has been hitherto carried out to measure the spacing distance between the projection center of the projection optical system and the detection center of the alignment system. It is also unnecessary to carry a large fiducial mark plate as described in Japanese Laid-Open Patent Publication No. 7-176468.

According to the first embodiment of the present invention, there are provided at least two alignment systems for detecting the mark, the two alignment systems being disposed with the projection optical system PL interposed therebetween. Accordingly, the alignment operation and the exposure operation, which are performed by alternately using the respective alignment systems, can be concurrently dealt with in parallel to one another by alternately moving the two wafer stages.

According to the first embodiment of the present invention, the wafer loader for exchanging the wafer is arranged in the vicinity of the alignment system, especially to perform the operation at the respective alignment positions. Accordingly, the change from the wafer exchange to the alignment sequence is smoothly performed. Thus, it is possible to obtain a higher throughput.

According to the first embodiment of the present invention, the influence to cause deterioration of throughput disappears almost completely, even when the off-axis alignment system is installed at a position greatly separated from the projection optical system PL, because the high throughput is obtained as described above. Therefore, it is possible to design and install a straight cylinder type optical system having a high N.A. (numerical aperture) and having a small aberration.

According to the first embodiment of the present invention, each of the optical systems has the interferometer beam radiated from the interferometer for measuring the approximate center of each of the optical axes of the two alignment systems and the projection optical system PL. Accordingly, the positions of the two wafer stages can be accurately measured in a state free from any Abbe error at any time of the alignment and the pattern exposure by the aid of the projection optical system. Thus, it is possible to independently move the two wafer stages.

The length-measuring axes BI1X, BI2X, which are provided toward the projection center of the projection optical system PL from the both sides in the direction (X axis direction in this embodiment) along which the two wafer stages WS1, WS2 are aligned, are always used to effect radiation to the wafer stages WS1, WS2 so that the positions of the respective stages in the X axis direction are measured. Therefore, it is possible to move and control the two stages so that they exert no interference with each other.

The interferometers are arranged so that the length-measuring axes BI3Y, BI4Y, BI5Y effect radiation in the direction (Y axis direction in this embodiment) intersecting perpendicularly toward the positions of the detection center of the alignment system and the projection center of the projection optical system PL with respect to the length-measuring axes BI1X, BI2X. The position of the wafer stage can be accurately controlled by resetting the interferometers even when the length-measuring axis is deviated from the reflective surface due to movement of the wafer stage.

The fiducial mark plates FM1, FM2 are provided on the two wafer stages WS1, WS2 respectively. The positional adjustment for the wafer can be performed by adding the spacing distance from the correction coordinate system obtained by previously measuring the mark position on the fiducial mark plate and the mark position on the wafer by using the alignment system, to the measured position of the fiducial plate before the exposure, without performing the baseline measurement for measuring the spacing distance between the projection optical system and the alignment system as performed in the conventional technique. It is unnecessary to carry a large fiducial mark plate as described in Japanese Laid-Open Patent Publication No. 7-176468.

According to the first embodiment of the present invention, the double exposure is performed by using a plurality of reticles R. Accordingly, an effect is obtained to increase the resolution and improve DOF (depth of focus). However, in the double exposure method, it is necessary to repeat the exposure step at least twice. For this reason, in general, the exposure time is prolonged, and the throughput is greatly decreased. However, the use of the projection exposure apparatus according to the first embodiment of the present invention makes it possible to greatly improve the throughput. Therefore, the effect is obtained to increase the resolution and improve DOF without decreasing the throughput. For example, it is assumed that the respective processing times of T1 (wafer exchange time), T2 (search alignment time), T3 (fine alignment time), and T4 (exposure time for one exposure) for an 8-inch wafer

are T1: 9 second, T2: 9 seconds, T3: 12 seconds, and T4: 28 seconds. When the double exposure is performed in accordance with the conventional technique in which a series of exposure processes are performed by using one wafer stage, there is given a throughput  $THOR=3600/(T1+T2+T3+T4 \times 2)=3600/(30+28 \times 2)=41$  [sheets/hour]. Therefore, the throughput is lowered to be up to 66% as compared with a throughput ( $THOR=3600/(T1+T2+T3+T4)=3600/58=62$  [sheets/hour]) obtained by using a conventional apparatus in which the single exposure method is carried out by using one wafer stage. However, when the double exposure is performed by using the projection exposure apparatus according to the first embodiment of the present invention while concurrently processing T1, T2, T3, T4 in parallel to one another, there is given a throughput  $THOR=3600/(28+28)=64$  [sheets/hour], because it is sufficient to consider only the exposure time. Therefore, the throughput can be improved while maintaining the effect to increase the resolution and improve DOF. The number of points for EGA can be increased in a degree corresponding to the long exposure time. Thus, the alignment accuracy is improved.

In the first embodiment of the present invention, explanation has been made for the case in which the present invention is applied to the apparatus for exposing the wafer based on the use of the double exposure method. However, such explanation has been made because of the following reason. That is, as described above, when the exposure is performed twice with the two reticles (double exposure) on the side of one of the wafer stages, during which the wafer exchange and the wafer alignment are concurrently carried out in parallel on the side of the other wafer stage which is independently movable, by using the apparatus according to the present invention, then the especially large effect is obtained in that the high throughput can be obtained as compared with the conventional single exposure, and it is possible to greatly improve the resolving power. However, the range of application of the present invention is not limited thereto. The present invention can be preferably applied when the exposure is performed in accordance with the single exposure method. For example, it is assumed that the respective processing times (T1 to T4) for an 8-inch wafer are the same as those described above. When the exposure process is performed in accordance with the single exposure method by using the two wafer stages as in the present invention, if T1, T2, T3 are dealt with as one group (30 second in total), and the concurrent process is performed for T4 (28 seconds), then there is given a throughput  $THOR=3600/30=120$  [sheets/hour]. Thus, it is possible to obtain the high throughput which is approximately two times the conventional throughput ( $THOR=62$  [sheets/hour]) in which the single exposure is carried out by using one wafer stage.

[Second Embodiment]

Next, the second embodiment of the present invention will be explained with reference to FIGS. 22 and 23. In this embodiment, constitutive components which are the same as or equivalent to those referred to in the first embodiment described above are designated by the same reference numerals, explanation of which is simplified or omitted.

As shown in FIG. 22, a projection exposure apparatus according to the second embodiment is characterized in that the length-measuring beam BI4Y (or BI5Y) is not deviated from the reflective surface of the stage during the movement of the wafer stage WS1 (or WS2) from the completion position of the alignment sequence to the start position of the exposure sequence, because the length of one side of the wafer stage WS1 (the length of one side of WS2 is identical thereto) is longer than the mutual distance BL between the length-measuring axes BI4Y and BI3Y (the mutual distance between the length-measuring axes BI5Y and BI3Y is identical thereto). Accordingly, the projection exposure apparatus according to the second embodiment is different from the projection exposure apparatus according to the first embodiment described above in that the reference mark on the fiducial mark plate can be measured after the reset for the interferometer as described later on. Other features are constructed in the same manner as the projection exposure apparatus 10 according to the first embodiment described above.

FIG. 22 shows a situation in which the interferometer having the length-measuring axis BI3Y is reset after completion of the alignment for the wafer W1 on the wafer stage WS1.

As also clarified from FIG. 22, the interferometers having the length-measuring axes BI1X, BI4X for managing the position of the wafer stage WS1 have their interferometer beams which are not deviated from the reflective surface formed on one end surface of the wafer stage WS1 in the Y axis direction, after the fine alignment operation (effected by EGA described above) for the wafer W1 by the aid of the alignment system 24a. Accordingly, the main control unit 90 is operated to move the wafer stage WS1 from the alignment completion position to the position shown in FIG. 22 at which the fiducial mark plate FM1 is located under the projection lens PL, while monitoring measured values obtained by using the interferometers having the length-measuring axes BI1X, BI4Y. During this process, the interferometer beam concerning the length-measuring axis BI3Y is reflected by the reflective surface of the wafer stage WS1 immediately before positioning the fiducial mark plate FM1 just under the projection lens PL.



In this embodiment, the position of the wafer stage WS1 is controlled on the basis of the measured values obtained by using the interferometers having the length-measuring axes BI1X, BI4Y. Therefore, unlike the first embodiment described above, the main control unit 90 can accurately manage the position of the wafer stage WS1. At this point of time (i.e., immediately before positioning the fiducial mark plate FM1 just under the projection lens PL), the interferometer having the length-measuring axis BI3Y is reset. After completion of the reset, the position of the wafer stage WS1 is controlled on the basis of measured values obtained by using the interferometers having the length-measuring axes BI1X, BI3Y (the coordinate system is changed from the first stage coordinate system to the second stage coordinate system).

After that, the main control unit 90 is operated so that the wafer stage WS1 is positioned at the position shown in FIG. 22 to perform the detection of the relative position between the marks MK1, MK3 on the fiducial mark plate FM1 and the projected images on the wafer surface, of the marks RMK1, RMK3 on the reticle corresponding thereto, i.e., the detection of the relative positional relationship between the marks MK1, MK3 and the exposure position (projection center of the projection optical system PL) by using the exposure light beam based on the use of the reticle microscopes 142, 144, in the same manner as performed in the first embodiment described above. After that, the main control unit 90 finally calculates the relative positional relationship between the exposure position and each shot in accordance with the relative positional relationship of each shot with respect to the mark MK2 on the fiducial mark plate FM1 previously determined and the relative positional relationship between the exposure position and the coordinate position of the mark MK1, MK3 on the fiducial mark plate FM1. Thus, the exposure (double exposure as described above) is performed in accordance with an obtained result (see FIG. 21).

During the exposure, the length-measuring axis BI4Y is deviated from the reflective surface depending on the exposure position, and the measurement therewith becomes impossible. However, no inconvenience occurs because the length-measuring axis has been already changed for the control of the position of the wafer stage WS1.

The operation of the exposure sequence is performed on the side of the one wafer stage WS1, during which the other wafer stage WS2 is subjected to the positional control on the basis of the measured values obtained by using the



interferometers having the length-measuring axes BI2X, BI5Y, in which the W exchange sequence and the wafer alignment sequence are executed. In this process, the double exposure is performed on the side of the wafer stage WS1 as described above. Therefore, the operation of the wafer exchange sequence and the wafer alignment sequence performed on the side of the wafer stage WS2 are completed earlier, and then the wafer stage WS2 is in a waiting state.

At the point of time at which the exposure for all areas of the wafer W1 is completed, the main control unit 90 is operated to move the wafer stage WS1 to the position at which the interferometer beam concerning the length-measuring axis BI4Y is reflected by the reflective surface of the wafer stage WS1 while monitoring measured values obtained by using the interferometers concerning the length-measuring axes BI1X, BI3Y so that the interferometer having the length-measuring axis BI4Y is reset. After completion of the reset operation, the main control unit 90 is operated to change the length-measuring axes for controlling the wafer stage WS1 into the length-measuring axes BI1X, BI4Y again so that the wafer stage WS1 is moved to the loading position.

During the movement, the interferometer beam concerning the length-measuring axis BI3Y is once deviated from the reflective surface, and it falls into an immeasurable state. However, no inconvenience occurs because the length-measuring axis has been changed to control the position of the wafer stage WS1.

The main control unit 90 is operated to start movement of the wafer stage WS2 so that the fiducial mark plate FM2 for the wafer stage WS2 is positioned under the projection optical system PL, concurrently with the movement of the wafer stage WS1 to the loading position. During the movement, the reset of the interferometer having the length-measuring axis BI3Y is executed in the same manner as described above. After that, the reticle microscopes 142, 144 are used to perform the detection of the relative positions of the marks MK1, MK3 on the fiducial mark plate FM2 and the projected images on the wafer surface, of the marks RMK1, RMK3 on the reticle corresponding thereto, i.e., the detection of the relative positional relationship between the marks MK1, MK3 and the exposure position (projection center of the projection optical system PL), in the same manner as described above. Subsequently, the main control unit 90 finally calculates the relative positional relationship between the exposure position and each shot in accordance with the relative positional relationship of each shot with respect to the mark MK2 on the fiducial mark plate FM2 previously determined and the relative positional relationship

between the exposure position and the coordinate position of the mark MK1, MK3 on the fiducial mark plate FM2. Thus, the exposure (double exposure as described above) is started in accordance with an obtained result.

FIG. 23 shows a situation in which the wafer stage WS1 is moved to the loading position as described above, and the operation of the exposure sequence is performed on the side of the wafer stage WS2.

At the loading position, the mark MK2 on the fiducial mark plate FM1 is located under the alignment system 24a in the same manner as described in the first embodiment. The main control unit 90 is operated to detect the coordinate position of the mark MK2 on the first stage coordinate system (BI1X, BI4Y) simultaneously with completion of the wafer exchange in the same manner as described in the first embodiment. Subsequently, the EGA measurement is carried out for the mark on the wafer W1 to calculate the coordinate position of each shot in the same coordinate system. That is, the relative positional relationship of each shot with respect to the mark MK2 is calculated by subtracting the coordinate position of the mark MK2 on the fiducial mark plate FM1 from the coordinate position of each shot. The EGA operation is completed at this point of time, and the system waits for completion of the exposure for the wafer W2 on the wafer stage WS2 to make a change again to the state shown in FIG. 22.

According to the projection exposure apparatus concerning the second embodiment of the present invention explained above, it is possible to obtain effects equivalent to those obtained in the first embodiment described above. Besides, the reflection is allowed to occur simultaneously on the reflective surface of the wafer stage for the length-measuring axes used before and after the change respectively during the movement of the stage when the change is made to the operation of the exposure sequence after completion of the operation of the alignment sequence. Further, the reflection is allowed to occur simultaneously on the reflective surface of the wafer stage for the length-measuring axes used before and after the change respectively during the movement of the stage when the change is made to the operation of the wafer exchange/alignment sequence after completion of the operation of the exposure sequence. Accordingly, it is possible that the mark on the fiducial mark plate is measured after the reset of the length-measuring interferometer by using the exposure light beam alignment sensor (reticle alignment microscope 142, 144) by the aid of the projection optical system PL, the reset for the length-measuring interferometer is executed prior to the wafer exchange, and the mark on the fiducial mark plate is measured after completion of the wafer exchange by using the off-axis

alignment sensor (alignment system 24a, 24b). Therefore, the interferometer to be used for the stage control can be changed to the interferometer having the length-measuring axis to be used for the operation after the change, during the change from the alignment operation based on the use of each alignment system to the exposure operation based on the use of the projection optical system PL, and during the change from the exposure operation based on the use of the projection optical system PL to the wafer exchange operation. Accordingly, it is possible to further improve the throughput, as compared with the case of the first embodiment in which the length-measuring axis is changed simultaneously with the measurement of the mark on the fiducial mark plate.

In the first and second embodiments described above, explanation has been made for the case in which the present invention is applied to the apparatus for exposing the wafer based on the use of the double exposure method. However, such explanation has been made because of the following reason. That is, as described above, when the exposure is performed twice with the two reticles (double exposure) on the side of one of the wafer stages, during which the wafer exchange and the wafer alignment are concurrently carried out in parallel on the side of the other wafer stage which is independently movable, by using the apparatus according to the present invention, then the especially large effect is obtained in that the high throughput can be obtained as compared with the conventional single exposure, and it is possible to greatly improve the resolving power. However, the range of application of the present invention is not limited thereto. The present invention can be preferably applied when the exposure is performed in accordance with the single exposure method. For example, it is assumed that the respective processing times (T1 to T4) for an 8-inch wafer are the same as those described above. When the exposure process is performed in accordance with the single exposure method by using the two wafer stages as in the present invention, if T1, T2, T3 are dealt with as one group (30 second in total), and the concurrent process is performed for T4 (28 seconds), then there is given a throughput  $THOR=3600/30=120$  [sheets/hour]. Thus, it is possible to obtain the high throughput which is approximately two times the throughput ( $THOR=62$  [sheets/hour]) of the conventional apparatus in which the single exposure is carried out by using one wafer stage.

In the embodiment described above, explanation has been made for the case in which the scanning exposure is performed in accordance with the step-and-scan system. However, the present invention is not limited thereto. It is a matter of course that the present invention can be equivalently applied to a case in which the stationary exposure is performed in accordance with the step-and-repeat system, as

well as those based on the use of the EB exposure apparatus and the X-ray exposure apparatus, and a process of the stitching exposure in which a chip is combined with another chip.

[Third embodiment]

In the first embodiment of the present invention, the different operations are concurrently processed in parallel to one another by using the two wafer stages WS1, WS2. Therefore, there is a possibility that the operation performed on the one stage gives influence (disturbance) to the operation of the other stage. For this reason, as described above, it is necessary to adjust the timing for the operations performed on the two stages WS1, WS2.

In this embodiment, explanation will be made for the timing adjustment for the operations performed on the two stages WS1, WS2, with reference to FIGS. 11, 12 and 24. As explained in the first embodiment, FIG. 11 shows an example of the timing of the exposure sequence for successively exposing the respective shot areas on the wafer W1 held on the stage WS1. FIG. 12 shows the timing of the alignment sequence for the wafer W2 held on the stage WS2, which is processed concurrently in parallel thereto.

As described above, the operations performed on the two stages WS1, WS2 include the disturbance factor operation in which the operation performed on one of the stages affects the operation performed on the other stage, and the non-disturbance factor operation in which the operation performed on one of the stages does not affect the operation performed on the other stage in a reverse manner. Accordingly, in the embodiment of the present invention, the operations to be concurrently processed are divided into disturbance factor operations and non-disturbance factor operations to achieve the timing adjustment so that a disturbance factor operation is successfully performed simultaneously with another disturbance factor operation, and a non-disturbance factor operation is successfully performed simultaneously with another non-disturbance factor operation.

Upon the start of the timing adjustment for the operations as shown in FIG. 24, at first, the main control unit 90 is operated so that the exposure start position of the wafer W1 held on the stage WS1 is adjusted to be at the exposure position of the projection optical system PL for performing the exposure operation, and the detection start position for the mark on the wafer W2 held on the stage WS2 is adjusted to be at the detection position of the alignment system 24b for performing the alignment

operation. In this state, the main control unit 90 waits for the input of a start command for the operation to be executed on the stage.

When the operation start command is inputted, the main control unit 90 judges in a step S2 whether or not the exposure operation performed on the wafer W1 is an operation not to behave as a disturbance factor (non-disturbance factor operation). The scanning exposure operation performed on the wafer W1 is a non-disturbance factor operation which does not affect the other stage, because the wafer W1 and the reticle R are subjected to synchronized scanning at a constant velocity. However, during the stepping operation corresponding to the movement between shot areas and across acceleration and deceleration areas existing before and after the constant velocity scanning, the scanning exposure operation behaves as a disturbance factor operation, because the stage WS1 is driven in an accelerating or decelerating manner. When the alignment operation is performed on the wafer W2, the operation behaves as a non-disturbance factor operation which does not affect the other stage, because the mark measurement is performed in a stationary state in which the mark is adjusted to the alignment system. However, the stepping operation corresponding to the movement between the marks to be measured behaves as a disturbance factor operation, because the stage WS2 is driven in an accelerating or decelerating manner.

Accordingly, in the step S2, when the operation performed on the wafer W1 is a non-disturbance factor operation such as the operation during the scanning exposure, it is necessary to exclude the disturbance factor operation from the operation concurrently processed on the wafer W2, because the exposure accuracy is lowered if the disturbance factor operation such as an stepping operation is performed on the other stage WS2. Therefore, if the judgment in the step S2 is affirmed, the main control unit 90 judges whether or not the operation to be performed next on the wafer W2 is a non-disturbance factor operation which is simultaneously executable (step S4). The non-disturbance factor operation, which is simultaneously executable on the wafer W2, includes, for example, a mark-detecting operation performed in a stationary state. In this embodiment, the non-disturbance factor operation as described above is executed simultaneously with another non-disturbance factor operation (step S6).

In the step S4, if the operation timing is deviated, or if there is no mark to be detected, then the routine proceeds to a step S8 to execute the scanning exposure operation on the wafer W1, and the processing operation on the wafer W2 is allowed to wait, because there is no non-disturbance factor operation which is simultaneously executable. The main control unit 90 judges in a step S10 whether or not the



non-disturbance factor operations on the wafers W1, W2 are completed. If the operations are not completed, the routine returns to the step S6 to repeatedly perform the operation as described above. If the operations are completed, the presence or absence of the next processing operation is judged in the next step S12. If the next processing operation is present in the step S12, the routine returns to the step S2 to repeat the operation as described above. If the next processing operation is absent, the routine ends.

In the step S2, when the stage WS1 is subjected to stepping movement to make movement between shot areas on the wafer W1, then the main control unit 90 judges such movement to be a disturbance factor operation, and the routine proceeds to a step S14. The main control unit 90 judges whether or not an operation to be performed next on the wafer W2 is a simultaneously executable disturbance factor operation (step S14). The disturbance factor operation, which is simultaneously executable on the wafer W2, includes, for example, stepping movement between measurement marks. Therefore, the disturbance factor operation as described above is executed in a step S16 simultaneously with another disturbance factor operation.

In the step S14, if the operation timing is deviated, or if there is no stepping movement between measurement marks, then there is no simultaneously executable disturbance factor operation. Therefore, the routine proceeds to a step S18 to execute the stepping operation on the wafer W1, and the processing operation on the wafer W2 is allowed to wait. The main control unit 90 judges whether or not the disturbance factor operations on the wafers W1, W2 are completed in a step S20. If the operations are not completed, the routine returns to the step S16 to repeatedly perform the operation as described above. If the operations are completed, the routine proceeds to the step S12 to judge the presence or absence of any operation to be processed next. In the step S12, if there is any operation to be processed next, the routine returns to the step S2 again to repeat the operation as described above. If there is no operation to be processed next, the routine ends.

Next, explanation will be made for an example of adjustment for the operation timing on the two wafers W1, W2 with reference to FIGS. 11 and 12. At first, on the wafer W1 shown in FIG. 11, the scanning exposure operation (non-disturbance factor operation) indicated by the operation numbers of "1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17, 19, 21, 23" is successively performed along arrows depicted by chain lines. It is understood that on the wafer W2 shown in FIG. 12, the mark-measuring operation (non-disturbance factor operation) is performed in a stationary state at positions of respective alignment marks indicated by the operation numbers of "1, 3, 5, 7, 9, 11,



13, 15, 17, 19, 21, 23, ..." in synchronization with the scanning exposure operation. On the other hand, no disturbance arises in the alignment sequence because the constant velocity movement is performed during the scanning exposure, and hence it is possible to perform highly accurate measurement.

In the alignment sequence (EGA) shown in FIG. 12, the alignment marks are measured at two points for each of the shot areas. Some of the alignment marks shown in FIG. 12 do not have operation numbers, because of the following reason. That is, for example, when an upper mark (before the operation number 4 in FIG. 12) of the next alignment shot is disposed in the vicinity of a lower mark (having the operation number 3 in FIG. 12) of the first alignment shot, then the upper mark is measured simultaneously with the lower mark, or the upper mark is measured after the wafer stage WS2 is moved by a minute distance at an acceleration of a degree at which the synchronization accuracy is not affected thereby with respect to the other wafer stage WS1. Therefore, these marks are indicated by the identical operation number (3 in this case). It is assumed that the measurement is performed in the same manner as described above for the alignment marks of the operation numbers other than the above.

On the wafer W1 shown in FIG. 11, the stepping movement (disturbance factor operation) between shot areas to be subjected to the scanning exposure is performed at the timing indicated by the operation numbers of "2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22". On the wafer W2 shown in FIG. 12, the stepping movement (disturbance factor operation) between measurement marks is performed at the timing indicated by the operation numbers of "2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, ..." in synchronization with the stepping movement of the wafer W1.

As shown in FIG. 7, when the wafer exchange operation is performed for the wafer W1, and the scanning exposure is performed for the wafer W2, then the disturbance factor arises, for example, in the vibration generated when the wafer W1 is delivered from the first load arm 188 to the center-up 180. However, in this case, it is assumed that the main control unit 90 performs the timing adjustment so that the wafer W2 is allowed to wait before and after the scanning exposure. Further, a disturbance factor arises concerning the wafer W2 in the process of acceleration or deceleration before or after the arrival at a constant velocity for the synchronized scanning for the wafer and the reticle. Therefore, the timing adjustment may be performed so that the wafer W1 is delivered in synchronization with this process.

As described above, the main control unit 90 is operated to adjust the operation timing so that the operations which behave as disturbance factors are performed in synchronization with each other as far as possible, or the operations which behave as non-disturbance factors are performed in synchronization with each other as far as possible, of the operations to be concurrently processed on the wafers W1, W2 held on the two stages respectively. Thus, it is possible to avoid the mutual influence which would be otherwise exerted by the disturbance, even when the respective operations are concurrently processed in parallel to one another on the two stages. All of the timing adjustment described above is performed by using the main control unit 90.

Next, explanation will be made for the interference condition to determine whether or not the two wafer stages WS1, WS2 make contact with each other, with reference to FIGS. 25A and 25B. FIG. 25A shows a state in which the wafer stage WS2 is located under the projection optical system PL, and the reference mark on the fiducial mark plate FM2 on the wafer stage WS2 is observed by using the TTR alignment system described above. It is assumed that the coordinate position (x, y) of the wafer stage WS2 at this time is (0, 0). Assuming that the X coordinate at the left end of the wafer stage WS2 is (-Wa) with respect to the reference mark on the fiducial mark plate FM2, the coordinate position at the left end of the wafer stage WS2 is (-Wa, y).

The coordinate position concerning the wafer stage WS1 is assumed as follows in the same manner as described above. That is, the coordinate position, which is obtained when the reference mark is measured by moving the fiducial mark plate FM1 on the wafer stage WS1 up to the position under the projection optical system PL, is (0, 0). The amount of movement from this position to the position of the wafer stage WS1 shown in FIG. 25A is (-Xb). The X coordinate at the right end of the wafer stage WS1 with respect to the reference mark on the fiducial mark plate FM1 is (Wb). On this assumption, the coordinate position at the right end of the wafer stage WS1 is (-Xb+Wb, y).

The condition, under which the both wafer stages WS1, WS2 make no interference with each other, lies in a state in which the left end of the wafer stage WS2 makes no contact with the right end of the wafer stage WS1. Therefore, this condition may be represented by a conditional expression of  $0 < -Wa - (-Xb + Wb)$ .

On the contrary, FIG. 25B assumes a state in which the wafer stage WS1 is moved in the direction of (-Xa) by a predetermined distance from the state shown in

FIG. 25A, and the two wafer stages WS1, WS2 are overlapped with each other (actually, the two wafer stages are not overlapped with each other, however, when the respective wafer stages are independently controlled, there is a possibility that target values for the respective stages may be set as shown in FIG. 25B). The coordinate position at the left end of the wafer stage WS2 is  $(-X_a - W_a, y)$ . The condition, under which the both wafer stages WS1, WS2 cause interference with each other, lies in a state in which the left end of the wafer stage WS2 is contacted or overlapped with the right end of the wafer stage WS1. Therefore, this condition may be represented by a conditional expression depicted by  $0 > -X_a - W_a - (-X_b + W_b)$ .

The conditional expression may be represented by the following general expression by using a certain reference point based on the use of the same coordinate:

$W_a + W_b < X_b - X_a$  ...Conditional Expression 1

If the conditional expression 1 is satisfied, the two wafer stages can be freely moved without any interference with each other.

On the other hand, if the following conditional expression 2 is satisfied, the two wafer stages make contact with each other to cause interference.

$W_a + W_b \geq X_b - X_a$  ...Conditional Expression 2

Therefore, the main control unit 90 controls the movement of the respective wafer stages WS1, WS2 to satisfy the conditional expression 1 as far as possible, while if a situation in which the conditional expression 2 is satisfied is postulated, it is necessary to make control in order to allow any one of the stages to wait so that the occurrence of mutual interference between the stages is avoided. The conditional expressions 1 and 2 have been explained as two separate individuals for the purpose of more comprehensive explanation. However, the two conditional expressions are substantially one conditional expression, because there is a relationship in which one of the conditional expressions is in contradiction to the other.

Explanation will be made with reference to a flow chart shown in FIG. 26 for a sequence to perform control of the movement without causing any interference between the both wafer stages by using the main control unit 90 on the basis of the conditional expression described above. At first, upon the start of the control operation, the main control unit 90 measures the coordinate positions of the two wafer stages WS1, WS2 by using values obtained by the interferometers based on the use of the origin  $(0, 0)$  of the same reference position (position of the optical axis of the projection optical system PL in this case). The conditional expression 1, which is previously stored in the memory 91, is substituted with necessary parameters ( $W_a$  and  $W_b$  in this case).

When the stage movement control is started, the main control unit 90 grasps the present positions of the two wafer stages WS1, WS2 on the basis of values obtained by using the length-measuring axes (for example, BI1X, BI2X) of the interferometers. The main control unit 90 is able to calculate and postulate the coordinate positions of the stages WS1, WS2 in future, on the basis of driving target values inputted into the stage control unit 38. The main control unit 90 determines, from these coordinate positions, the movement direction and the movement distance ( $X_b$  and  $X_a$  in this embodiment) of the two stages WS1, WS2 with respect to the reference position to substitute the conditional expression 1 therewith. Thus, it is possible to judge whether or not the conditional expression 1 ( $W_a + W_b < X_b - X_a$ ) is satisfied (step S30).

If the conditional expression 1 is satisfied, no mutual interference occurs between the two wafer stages WS1, WS2. Accordingly, the both stages WS1, WS2 can be independently moved and controlled (step S32).

If the conditional expression 1 is not satisfied in the step S30, the interference occurs between the wafer stages WS1 and WS2. Therefore, the main control unit 90 compares the time until completion of the operation performed on the stage WS1 with that on the stage WS2 (step S34). If the operation on the stage WS1 is completed earlier, then the main control unit 90 allows the stage WS1 to wait, and the wafer stage WS2 is preferentially moved and controlled (step S36). During the control of the movement of the wafer stage WS2, the main control unit 90 always judges whether or not a situation is given, in which the conditional expression 1 is satisfied (step S38). During the period in which the conditional expression 1 is not satisfied, the routine returns to the step S36 to preferentially move and control the wafer stage WS2. If the conditional expression 1 is satisfied in the step S38, the main control unit 90 is operated so that the waiting state of the wafer stage WS1 is canceled (step S40) to independently move and control the wafer stages WS1, WS2 respectively (step S32).

In the step S34, if the operation of the stage WS2 is completed earlier, then the main control unit 90 allows the stage WS2 to wait, and the wafer stage WS1 is preferentially moved and controlled (step S42). During the control of the movement of the wafer stage WS1, the main control unit 90 always judges whether or not a situation is given, in which the conditional expression 1 is satisfied (step S44). During the period in which the conditional expression 1 is not satisfied, the routine returns to the step S42 to preferentially move and control the wafer stage WS1. If a state is given, in which the conditional expression 1 is satisfied in the step S44, the

waiting state of the wafer stage WS2 is canceled by the main control unit 90 (step S40) to independently move and control the wafer stages WS1, WS2 respectively (step S32).

If the stage movement control is continuously performed by using the main control unit 90, the routine returns from the step S46 to the step S30 to repeatedly perform the movement control as described above. If the stage movement control is not performed, the control operation is ended.

As described above, the main control unit 90 controls the movement of the two stages WS1, WS2 by the aid of the conditional expression and the stage control unit 38. Thus, it is possible to prevent the both stages from mutual interference.

When the double exposure method described above is carried out, the operation completion time on the stage for performing the exposure operation is later than that on the stage for performing the alignment operation, because the exposure operation is repeated twice. For this reason, when the mutual interference occurs between the stages, then the stage for the alignment, on which the operation is completed earlier, is allowed to wait, and the stage for the exposure is preferentially moved.

However, on the stage for the alignment, it is allowable to concurrently perform not only the fine alignment operation as described above but also the wafer exchange operation, the search alignment operation, and operations other than the above in parallel to one another. Therefore, it is desirable that the operation time on the stage for the alignment is shortened as short as possible.

Accordingly, as shown in FIG. 27B, the most efficient stepping order (E1 to E12) is set for the wafer W2 for performing the exposure operation, because the exposure operation constitutes the rate-limiting condition for the throughput. On the contrary, as shown in FIG. 27A, several shots of the exposure shots are selected as sample shots on the wafer W1 for performing the alignment operation based on EGA. In this embodiment, it is assumed, for example, that four shots indicated by symbol "A" are selected. The stepping order on the alignment side (W1) is determined to make movement corresponding to the stepping order in the exposure operation for the wafer W2, as on the wafer W1 disposed on the alignment side as shown in FIG. 28A. As for the wafer W2 shown in FIG. 28B, operations during the exposure, for which the influence of disturbance should be suppressed, are designated by numerical numbers (1 to 12), while stepping operations which are not affected by disturbance are indicated by arrows (→).



As shown in FIG. 28A, when the fine alignment operation based on EGA is performed on the wafer W1, the movement order is determined so that the alignment operation is performed for the shot areas corresponding to those on the wafer W2 to perform the scanning exposure as shown in FIG. 17B for the operation numbers 1 to 5. Accordingly, when the movement order of the alignment shots is made to be the same as that for the exposure shots, the two stages are moved in parallel to one another while maintaining a constant spacing distance therebetween. Therefore, it is possible to control the movement without satisfying the interference condition.

In the case of the wafer W1 shown in FIG. 28A, the alignment order is determined as follows. That is, when the operation number is moved from 5 to 6 in a stepping manner, the operation skips to the shot area A3 located thereover by one row, and when the operation number becomes 7, the operation skips to the shot area A4. This is because of the following reason. That is, when the shot area, which is indicated by the operation number 6 or 7 on the wafer W2 shown in FIG. 28B to be subjected to the scanning exposure, is disposed under the projection optical system PL, the wafer stage WS2 is at a position spaced apart from the wafer stage WS1 (the wafer W2 is disposed at the most rightward position concerning the position of the operation number 6 or 7, because the alignment system is fixedly secured, and the wafer is moved). Accordingly, it is possible to relatively freely move the wafer stage WS1 for performing the alignment operation. As described above, the fine alignment time can be further shortened by moving the wafer W1 as shown in FIG. 28A to perform the alignment operation.

Alternatively, when an alignment mark at one point is detected for every one shot area to use all shot areas as sample shots, unlike the sample shots used in the alignment sequence described above, it is possible to avoid deterioration of throughput. In this procedure, the alignment marks in the shot areas corresponding to the exposure order on the wafer W2 are successively measured. The occurrence of interference between the stages disappears as described above. Further, when such EGA is performed, it is possible to expect further improvement in alignment accuracy owing to the averaging effect.

As explained above, according to the projection exposure apparatus 10 concerning the embodiment of the present invention, the operations of the both stages are controlled so that the operations which behave as disturbance factors are performed in synchronization with each other, or the operations which do not behave as disturbance factors are performed in synchronization with each other, of the



operations to be performed on the two wafer stages which independently hold the two wafers respectively. Accordingly, the alignment operation can be processed concurrently with the exposure operation without decreasing the synchronization accuracy when the scanning exposure is performed and without decreasing the mark measurement accuracy when the alignment is performed. Thus, it is possible to improve the throughput.

According to the embodiment described above, when the two wafer stages are independently moved and controlled in the XY two-dimensional direction, then the condition of interference between the two wafer stages (interference condition) is previously stored, and the movement is controlled so that the interference condition is not satisfied as far as possible. Accordingly, the movement ranges of the both stages can be overlapped with each other. Therefore, it is possible to decrease the foot print.

According to the embodiment described above, when the two wafer stages are independently moved in the XY direction, if the interference condition is satisfied in each of the stages, then the stage on which the operation is completed earlier is allowed to wait until the operation is changed, and the other stage is preferentially subjected to the movement control. Accordingly, it is possible to avoid the interference between the stages without deteriorating the throughput.

According to the embodiment described above, when arbitrary shots are selected as alignment shots from a plurality of shot areas on the wafer to be used in the alignment sequence for performing the mark measurement, the order of measurement of the alignment shots is determined so that the interference is avoided between the both stages as less as possible. Accordingly, it is possible to appropriately suppress the case of the interference condition between the stages and the case in which one of the stages is allowed to wait as described above.

In the embodiment described above, the order of alignment shots and the order of exposure shots are determined so that the two wafer stages are moved in the same direction, if possible. Accordingly, the range of movement of the two wafer stages can be decreased as small as possible, and it is possible to miniaturize the apparatus. However, when the projection optical system and the alignment system can be installed while they are spaced apart from each other by a certain distance, then the two wafer stages, which are movable on the base pedestal, may be moved in mutually opposite directions in a left-right symmetric manner. Accordingly, the loads act on the vibration-preventive mechanism for supporting the base pedestal so that the loads

are offset with each other. Therefore, the output of the vibration-preventive mechanism can be suppressed to be small, the inclination of the stage and the occurrence of vibration are decreased, and the vibration convergence time can be shortened. Thus, it is possible to further improve the operation accuracy and the throughput.

In the embodiment described above, explanation has been made for the case in which the alignment operation and the wafer exchange operation are processed concurrently with the exposure operation. Of course, the present invention is not limited thereto. The operation, which may be performed concurrently with the exposure operation, includes, for example, base line check (BCHK). A sequence such as those for calibration which is performed every time when the wafer exchange is performed may be processed concurrently with the exposure operation in the same manner as described above.

#### [Fourth Embodiment]

Next, the fourth embodiment of the present invention will be explained with reference to FIGS. 29 to 43. In the fourth embodiment of the present invention, the pre-measurement AF/AL is performed by using one wafer stage WS, while the focus/leveling control is performed on the basis of obtained results of the measurement so that the exposure process is executed.

FIG. 29 shows a schematic arrangement of a projection exposure apparatus 214 according to the fourth embodiment. The projection exposure apparatus 214 is a scanning exposure type projection exposure apparatus based on the step-and-scan system in the same manner as described in the first embodiment. Basic constitutive components of the projection exposure apparatus 214 are the same as those of the projection exposure apparatus 10 according to the first embodiment shown in FIG. 1. The same parts or components are designated by the same reference numerals, explanation for the construction of which will be omitted. The projection exposure apparatus 214 is different from the projection exposure apparatus 10 of the first embodiment in the following points. That is, the wafer stage WS is constructed as one individual, and the AF/AL systems for measuring the surface position on the wafer W for pre-measurement control are provided on one side and the other side of the exposure area IF in the scanning direction. Further, the projection exposure apparatus 214 comprises an irradiating optical system 151 and a light-collecting optical system 161 based on the oblique incidence system constructed so that a plurality of detecting points are arranged over a range wider than the width of the exposure area IF in the non-scanning direction. Moreover, the wafer stage WS

according to the fourth embodiment of the present invention is provided with a Z-leveling stage LS as a substrate-driving system for making fine driving and oblique driving in the Z axis direction while holding the wafer W.

As viewed in FIG. 30 illustrating, in a perspective view, the arrangement of the AF detecting points for the pre-measurement control with respect to the exposure area IF, a detecting area AFE (see FIG. 35), which is constructed by the detecting points AF1 to AF9 in the non-scanning direction ( $\pm X$  direction), is provided in the scanning direction (+Y direction) for the exposure area IF. The detecting area AFE is arranged over a range larger than the width of the exposure area IF in the non-scanning direction. Further, a detecting area ABE (see FIG. 35), which is constructed by the detecting points AB1 to AB9 in the non-scanning direction ( $\pm X$  direction), is provided in the scanning direction (-Y direction) for the exposure area IF. The detecting area ABE is arranged over a range larger than the width of the exposure area IF in the non-scanning direction. The detecting points AF1 to AF9 and the detecting points AB1 to AB9 are arranged on the front sides in the scanning directions (+Y direction, -Y direction) for scanning the exposure area IF respectively. The relative position, which indicates the degree of discrepancy of the surface of the wafer W at each of the detecting points with respect to a predetermined reference plane, is detected prior to the exposure for the shot area.

FIG. 31 shows a side view of FIG. 30 as viewed in the scanning direction, FIG. 32 shows a plan view of FIG. 30, and FIG. 33 shows a side view of FIG. 32 as viewed in the non-scanning direction.

As shown in FIGS. 32 and 33, the light beams, which are radiated from the irradiating optical systems 151a, 151b of the oblique incidence type AF/AL system, form the detecting points AB1 to AB9 and the detecting points AF1 to AF9 extending over the surface of the wafer W in the non-scanning direction. The light beams reflected by the surface of the wafer W are received by the light-collecting optical systems 161a, 161b of the oblique incidence type AF/AL system. This arrangement is provided because of the following reason. That is, in general, it is impossible to perform measurement for the inside of the exposure area IF by using the oblique incidence AF system, because the working distance between the wafer W and the lower surface of the projection lens is narrowed in accordance with the increase in N.A. (numerical aperture) of the projection lens of the projection optical system PL. However, in the present invention, even in such a case, it is intended to execute the complete pre-measurement.

As shown in FIGS. 31 and 33, the fourth embodiment of the present invention is constructed as follows. That is, the shape of the projection optical system PL in the vicinity of its lower end is an inverted truncated cone. A plurality of irradiating light beams coming from the irradiating optical systems 151a, 151b are radiated onto the respective positions of the detecting points on the wafer W. The reflected light beams coming from the surface of the wafer W pass through the both sides of the projection optical system PL, and they are received by the light-collecting optical systems 161a, 161b. The arrangement as described above is provided in order that the AF light beams are not intercepted in the vicinity of the lower end of the projection optical system PL. A parallel flat plate 216 having a rectangular configuration is disposed at the lowermost plane of the projection optical system PL in conformity with the scanning direction in order to harmonize the extending portion of N.A. with the direction of  $45^\circ$  of the projection optical system PL, and in order to correct the aberration of the projection lens which constructs the projection optical system PL. The AF detecting points, which extend one-dimensionally in the non-scanning direction, are arranged at two places as those for +Y scanning and -Y scanning, in front of and at the back of the parallel flat plate 216 in the scanning direction. For example, when this system is compared with a two-dimensional detection type AF mechanism as described in Japanese Laid-open Patent Publication No. 6-283403 corresponding to U.S. Pat. No. 5,448,332, then the AF measurement cannot be performed at the exposure position, while it is possible to form a long spot group extending in the non-scanning direction, and the detecting points are arranged one-dimensionally. Accordingly, this system is advantageous in that the offset error, which is caused by intra-plane curvature of the respective AF spots in the Z direction, can be easily corrected. Further, for example, when a method for forming the interference fringe in the non-scanning direction by means of two-directional incidence is adopted, the present invention is easily and advantageously applied, because the present invention resides in the pre-measurement control method for the one-dimensional process for detecting the AF/AL position by means of one-dimensional image processing in accordance with the distance error and the positional variation of the interference fringe. Moreover, the light beams are divided into those for the two places of the detection areas AFE, ABE. Accordingly, when a cover which does not intercept the respective light beams is provided so that the AF/AL accuracy, which varies depending on the temperature change, is improved by allowing a temperature-controlled gas to flow through the inside of the cover, then an effect is obtained in that the detection error is further reduced.

Next, explanation will be made for the pre-measurement control based on the use of the projection exposure apparatus 214 according to the fourth embodiment of

the present invention, in which the shot array is larger than the outer circumference of the wafer W. For example, FIG. 42 shows Comparative Example concerning pre-measurement control, in which the shot array is larger than the outer circumference of the wafer W. In FIG. 42, AF detecting points AF1 to AF5, which are arranged in the non-scanning direction, are disposed on the front side in the scanning direction with respect to the exposure area IF subjected to scanning exposure (in the direction indicated upwardly by an arrow in the plane of the paper; actually, the exposure area IF and the AF detecting points AF1 to AF5 are fixed, and the wafer W is scanned with respect thereto, however, for convenience, the illustration is given such that the exposure area IF and the AF detecting points shown in the drawing are scanned with respect to the wafer surface). A detecting area AFB, which is constructed by the AF detecting points AF1 to AF5, is provided to perform AF measurement for executing complete pre-measurement control. The width of the detecting area AFB is approximately the same as the width of the exposure area IF in the non-scanning direction. When the pre-measurement control is made by using the projection exposure apparatus constructed as shown in FIG. 42 (Comparative Example), AF output values ranging from AF1 to AF5 are obtained in accordance with the movement of the stage as shown in FIG. 43. In FIG. 43, the horizontal axis indicates the movement time [t] of the stage, and the vertical axis indicates the relative position [ $\mu\text{m}$ ] in the Z direction with respect to the surface position of the wafer. As shown in the diagram in FIG. 43, the detecting points AF5 to AF3, which overlap the surface of the wafer W, gradually represent the surface position of the wafer in accordance with the movement of the detecting points in the scanning direction. However, the detecting points AF2 and AF1 do not pass over the wafer surface until the end. Therefore, no normal output value is obtained for the detecting points AF2 and AF1. As described above, when it is intended to carry out the pre-measurement control for all shot areas based on the five-point measurement as illustrated in Comparative Example shown in FIGS. 42 and 43, then an error occurs for the shot area in the vicinity of the outer circumference of the wafer, and it is impossible to perform the AF/AL control in some cases. In order to avoid this inconvenience, it is necessary to make change into an AF/AL control sequence for incomplete shot areas so that the pre-measurement control is carried out while performing scanning from the inside to the outside of the wafer W, or the exposure process is carried out by using measurement data on the surface position of the wafer concerning the adjacent shot.

On the contrary, as shown in FIG. 30, in the fourth embodiment of the present invention, the width of the AF detecting points in the non-scanning direction is widened as compared with the exposure area IF, and thus the surface position of the wafer of the adjacent shot area can be measured. Accordingly, the pre-measurement



control, which scarcely suffers from error, is performed by utilizing the result of the measurement.

FIG. 34 shows a plan view of the wafer W, which explains the pre-measurement control method based on the use of the AF/AL system according to the fourth embodiment. FIG. 34 shows grouping for respective shot areas, designated when the pre-measurement control is carried out in an order in which the wafer W can be exposed most quickly. FIG. 35 shows a positional relationship between the exposure area IF and the AF detecting points during the focus measurement. In this embodiment, it is previously determined that what AF detecting points (AF1 to AF9, AB1 to AB9) are used for each of the shot areas to perform the AF measurement, by making grouping such as "A, B, C, D, E, F, AF, AB", so as to previously determine the positions of the detecting points used for respective groups, as shown in a table in FIG. 36. In the table shown in FIG. 36, the position of the AF detecting point (AF1 to AF9, AB1 to AB9) to be used is indicated in the lateral direction, and the name of the group obtained by grouping the respective shot areas is indicated in the vertical direction. The control is made by the main control unit 90 so that the pre-measurement control is performed by using the AF detecting points (sensors) affixed with circle symbols at the crossing positions thereof.

For example, FIG. 37 shows the positional relationship at the point of time to start the pre-measurement control for the wafer surface and the AF detecting points used when the shot area 212 of the group A is exposed (for example, when the shot area located at the upper-left end in FIG. 34 is exposed). In this case, the control is made by the main control unit 90 so as to use the AF detecting points AF7, AF8, AF9 which are located at positions separated from the exposure area IF by a distance L in the scanning direction. In this procedure, at the point of time to start the pre-measurement control shown in FIG. 37, all of the three AF detecting points (AF7, AF8, AF9) designated by the main control unit 90 are located on the wafer surface. Therefore, the pre-measurement control is performed on the basis of measured values measured at the three AF detecting points AF7, AF8, AF9 until completion of the exposure for the shot area 212 indicated by broken lines.

The process shown in FIGS. 36 and 37 resides in the "AF detecting point fixation method" in which the AF detecting points to be used are previously fixed corresponding to the shot area. In the example shown in FIG. 37, only the detecting point AF7 is actually measured in the shot area 212. The AF/AL control based on the pre-measurement can be performed by using measured values for the detecting points AF8, AF9 disposed on the adjacent shot area.



When no incomplete AF detecting point is included in the shot area during the pre-measurement control, namely when the group AF or the group AB shown in FIG. 34 is processed, the measurement is performed by using only the detecting points AF3 to AF7 and AB3 to AB7 located in the shot area designated in the table in FIG. 36. The detecting points AF1, AF2, AF8, AF9 located outside the shot area are not used.

In the case of the group E shown in FIG. 34, the measurement is performed by using the detecting points AF1 to AF5 as designated in the table in FIG. 36. In the case of the group E, the detecting points AF6, AF7 can be measured on the way of the process of the pre-measurement control as shown in FIG. 34. Accordingly, the accuracy is increased when measured values for the detecting points AF6, AF7 are used. However, an advantage is obtained in that the control process effected by the main control unit 90 can be simplified in a degree corresponding to the nonnecessity to change the AF detecting point used in one time of exposure operation during setting for the shot array. Therefore, if the control process has a certain margin, it is preferable that the measured values for the detecting points AF6, AF7 are used to perform more highly accurate focus/leveling control.

Next, explanation will be made for pre-measurement control methods other than the above. FIG. 38 lies in the "AF detecting point movement type" in which the focus measurement for the wafer surface is performed for a predetermined shot area by moving the AF detecting points in conformity with successive movement in the scanning direction of the sensors capable of performing AF measurement on the surface of the wafer W without changing the number of AF detecting points to be used. In principle, this method is the most excellent measuring method having the highest accuracy, of AF measurement methods based on the pre-measurement control. When the "AF detecting point movement type" is carried out, the main control unit 90 makes control so that the AF detecting points are changed on the basis of positional information on the outer circumference of the wafer, positional information on the AF detecting points, and positional information on the shot area as the exposure objective, in order to recognize what AF detecting point overlaps the effective area located inside the prohibition zone defined at the circumferential edge portion of the wafer W, while moving the wafer W in the scanning direction. For example, in the case of the procedure shown in FIG. 38, the measurement is firstly performed by using three detecting points AF7, AF8, AF9. Secondly, detecting points AF6, AF7, AF8 are used. Thirdly, detecting points AF5, AF6, AF7 are used. Finally, detecting points AF4, AF5, AF6 are used. In such a way, the sensors are changed so as to select the three detecting points, if possible, within the shot area 212 within the effective area on

the wafer surface. Accordingly, even when the outer circumferential portion of the wafer W, at which the shot area is provided, is subjected to scanning exposure from the outside to the inside by moving the exposure area IF (actually, the relative scanning is performed by moving the wafer W with respect to the exposure area IF which does not make movement), it is possible to quickly drive the wafer surface position into the image formation plane of the projection optical system PL by performing the pre-measurement control. Thus, it is possible to perform quick and highly accurate focus/leveling control. As for the method for the change, it is preferable to perform grouping as described above, or it is preferable to always monitor the outputs of all of the sensors to use the detecting point which comes within an allowable value.

FIG. 39 resides in the "AF sensor number and position variable type" in which all detecting points are used provided that the measurement can be performed therefor, regardless of the number of the AF detecting points to be used. This procedure is characterized in that the averaging effect is enhanced owing to the use of a plurality of AF detecting points, making it possible to be scarcely affected by camber or the like possibly existing at the outer circumferential portion of the wafer. For example, when the reproducibility is unsatisfactory in the AF measurement, this effect is further enhanced. In the case of the procedure shown in FIG. 39, like in FIG. 38, the main control unit 90 also makes control so that the AF detecting points are changed on the basis of positional information on the outer circumference of the wafer, positional information on the AF detecting points, and positional information on the shot area as the exposure objective, in order to recognize what AF detecting point overlaps the effective area located inside the prohibition zone defined at the circumferential edge portion of the wafer W, while moving the wafer W in the scanning direction. In this procedure, the number of the AF detecting points is not limited. Therefore, the AF/AL measurement is performed by using all of the detecting points included in the effective area, of the detecting points AF1 to AF9. Accordingly, even when the shot area located in the vicinity of the outer circumferential of the wafer W is subjected to scanning exposure from the outside to the inside, it is possible to quickly drive the wafer surface position into the image formation plane of the projection optical system PL by performing the pre-measurement control. Thus, it is possible to perform quick and highly accurate focus/leveling control.

The use of the pre-measurement control method as described above may be used to make addition to the technique described, for example, in Japanese Laid-Open Patent Publication No. 6-283403 corresponding to U.S. Pat. No. 5,448,332. Thus, it

is possible to perform quick and highly accurate scanning exposure for the respective shot areas on the wafer surface in accordance with the most rapid exposure order, regardless of classification of shot areas into those located inside the wafer and those located in the vicinity of the outer circumference of the wafer.

Next, explanation will be made for what data are adopted as pre-measurement data when the pre-measurement control is performed as described above. It is assumed, for example, that the width of the exposure area IF in the scanning direction is 6 to 8 mm, and the scanning velocity of the wafer during the exposure is 80 to 90 mm/sec. While being affected by the waviness frequency of the wafer surface, it is desirable for the throughput to give a relationship of the acceleration until the pre-measurement AF detecting point arrives at the wafer scanning velocity during exposure+the adjustment distance ( $L=8$  to 10 mm), in a degree corresponding to the absence of unnecessary run-up. This procedure is executed as follows. That is, the pre-measurement position is calculated from information in the data file on the position of the outer circumference of the wafer, the coordinate position of the shot area, and the distance  $L$  from the exposure area IF to the AF detecting point. When the pre-measurement start position is located inside the pattern prohibition zone (usually about 30 mm; see FIG. 30) at the outer circumference of the wafer, the sensor corresponding thereto is adopted. However, the outer circumference of the wafer tends to be affected by camber and dust. Even in the case of the pre-measurement start position set in the data file, the position does not necessarily represent the accurate position of the wafer surface.

Explanation will now be made for the procedure in which the control error caused in the aforementioned case is made as small as possible, with reference to FIGS. 40 and 41. In FIG. 40, it is assumed that, for example, when the AF detecting points AF6 to AF9 are used as in the group C in the "AF detecting point fixation method" described above, the pre-measurement control start coordinate is located at a position (1) shown in FIG. 41 according to calculation based on the use of the data file, however, the position (1) is affected by the pattern prohibition zone, and it fairly suffers from de-focusing. In this case, as shown in FIG. 41, when the pre-measurement control is started at the position (1), the output values of the respective sensors are affected by the detecting point AF6. If the result of measurement obtained by the pre-measurement involves a sizeable error with respect to the target, it seriously affects the leveling control, because the corresponding sensor is disposed at the most right end of the AF detecting points.

If the system is designed such that the pre-measurement point is moved at 80 mm/sec, and 70% thereof can be subjected to control during scanning, and if the detecting point AF6 disposed at the most right end involves an error of not more than several  $\mu\text{m}$  in the Z axis direction, then the system merely suffers from a small error owing to the averaging effect obtained during the pre-measurement control. However, if there is an error of several tens  $\mu\text{m}$  in the Z axis direction, and if the leveling control is performed by using, as a target value, a result obtained by adding such a value including the error, then an error of an unallowable degree is produced. For this reason, it is desirable that the pre-measurement is started when the result obtained by monitoring data upon the start of the measurement for the pre-measurement detecting point is within an allowable range, while when the result exceeds the allowable range, the measurement result obtained by the pre-measurement control is not used until arrival at the point (2) at which the result is within the allowable range.

In the case of the "AF sensor position movement type" and the "AF sensor number and position variable type" described above, it is possible to use only the AF detecting points included in the allowable range.

Further, a certain allowable range may be also set for the measurement error concerning the respective detecting points, and the AF detecting points except for the AF detecting point which involves a cause to exceed the allowable range may be used. By doing so, for example, it is possible to decrease the frequency of occurrence of AF error caused by the influence of dust or the like attached to the back surface side of the wafer. However, in such a method, it is necessary to allow the wafer surface to be previously included within an allowable range with respect to the position for making driving into the target AF. Therefore, it is necessary to execute global AF or global AF/AL beforehand on the basis of the result of focus measurement during the wafer alignment.

As explained above, according to the projection exposure apparatus 214 concerning the fourth embodiment of the present invention, a plurality of AF detecting points are arranged for the area which is wider in the non-scanning direction than the exposure area IF on the wafer W, when the pattern on the reticle R is subjected to the scanning exposure onto the wafer W by the aid of the projection optical system PL. Further, prior to the exposure for the shot area 212 located in the vicinity of the outer circumference of the wafer W, the pre-measurement for the focus is started at the point of time at which a part of the plurality of AF detecting points overlap the surface of the wafer W. The focus control is started on the basis of the result of the

measurement. Accordingly, the focus information on those located at the inside, which has not been able to be measured by using the pre-measurement control based on the use of the conventional scanning type projection exposure apparatus, can be used for the focus control as the pre-measurement data. Therefore, it is possible to perform the highly accurate focus control without deteriorating the throughput.

When one AF detecting point on the surface of the wafer W, of the plurality of AF detecting points is used, the leveling control during the exposure is performed by using the leveling information on the adjacent shot, or by using the fixed value (for example, both of the inclination amount in the X direction and the inclination amount in the Y direction are "0"). Accordingly, the pre-measurement control can be started even for the incomplete shot area located in the vicinity of the outer circumference of the wafer.

Further, upon execution of the pre-measurement control by using one point of the AF detecting point on the surface of the wafer W, when the AF detecting point different from the aforementioned point overlaps the surface of the wafer W, the pre-measurement is started at the corresponding position. When the leveling control can be performed by using the both results of the pre-measurement until the start of exposure, the leveling process based on the use of the adjacent shot or the leveling correction process based on the use of the fixed value as described above is changed to the leveling control process based on the pre-measurement for the inside of the shot. By doing so, even in the case of the pre-measurement control for the incomplete shot located at the outer circumference portion, it is possible to perform the focus/leveling control highly accurately.

The AF detecting points to be used when the pre-measurement is performed are determined on the basis of the positional information on the outer circumference of the wafer W, the positional information on the plurality of the AF detecting points, and the coordinate positions of the shot areas on the wafer W, at the point of time at which the shot array on the wafer W is determined. Alternatively, the detection process based on the use of the AF detecting points to be used for the pre-measurement control is always executed during the scanning for the wafer. The pre-measurement control is started from the point of time at which the detection result obtained at any of the detecting points is within the allowable value. Accordingly, even if the influence of the outer circumferential edge of the wafer is unexpectedly larger than that assumed from the designed coordinate, the focus control is not started at that point of time. Therefore, it is possible to avoid occurrence of a large focus/leveling error.



In the fourth embodiment described above, explanation has been made for the case in which one wafer stage is used. However, it is a matter of course that the present invention can be carried out in the case of the use of two stages as explained in the first to the third embodiments. In this case, it is not necessarily indispensable to previously perform the focus measurement by using the alignment system. However, for the purpose of higher accuracy, it is preferable to perform the focus measurement by using the alignment system. When the focus alignment based on the use of the alignment system is not performed, an advantage is obtained in that the operation time therefor can be used for the operation time for other purposes.

[Fifth Embodiment]

The fifth embodiment of the present invention will now be described with reference to FIGS. 44 to 47.

FIG. 44 shows the constitution of an exposure apparatus 100 related to the fifth embodiment. This exposure apparatus 100 is a step-and-repeat reduced projection exposure apparatus (a so-called stepper).

The projection exposure apparatus 100 comprises an illumination system IOP, a reticle stage RST for holding a reticle R as a mask, a projection optical system PL for projecting the image of a pattern formed in the reticle R onto a wafer W as a sensitive substrate, a wafer stage WS1 as a first substrate stage movable on a base 12 in a two-dimensional direction XY while holding the wafer W, a wafer stage WS2 as a second substrate stage movable on the base 12 in the two-dimensional direction XY independently of the wafer stage WS1 while holding the wafer W, an interferometer system 26 for measuring the positions of the two wafer stages WS1, WS2, and a main controller 28 as controller comprising a minicomputer (or a microcomputer) including CPU, ROM, RAM and I/O interface, for supervising and controlling the entire apparatus.

The illumination system IOP is composed of a light source (mercury lamp or excimer laser), and an illumination optical system comprising a fly eye lens, a relay lens, and a condenser lens. This illumination system IOP illuminates a pattern of the lower surface of the reticle R (pattern formation surface) with a uniform illuminance distribution by illumination light IL for exposure from the light source. The illumination light IL for exposure used is an emission line such as i-line from a mercury lamp, or excimer laser light from, say, KrF or ArF.



Onto the reticle stage RST, the reticle R is fixed via fixing means (not shown). The reticle stage RST is finely drivable by a driving system (not shown) in an X-axis direction (the right-and-left direction in the sheet face of FIG. 44), a Y-axis direction (the direction perpendicular to the sheet face of FIG. 44), and a  $\theta$  direction (the direction of rotation in the XY plane). This measure enables the reticle stage RST to perform positioning of the reticle R (reticle alignment) such that the center of the pattern of the reticle R (the reticle center) practically agrees with the optical axis Ae of the projection optical system PL. In FIG. 44, the state in which this reticle alignment has been performed is illustrated.

The projection optical system PL has the optical axis Ae lying in a Z-axis direction perpendicular to the moving plane of the reticle stage RST. Here, a both-sided telecentric system with a predetermined reduction ratio  $\beta$  ( $\beta$  of, say, 1/5) is used. Thus, when the reticle R is illuminated at a uniform illuminance by the illumination light IL with the pattern of the reticle R being aligned with the shot areas on the wafer W, the pattern on the pattern formation surface is reduced by the projection optical system PL at the reduction ratio  $\beta$ . The so reduced pattern is projected onto the wafer W coated with a photoresist, whereby the reduced image of the pattern is formed in each shot area on the wafer W.

In the instant embodiment, an X fixed mirror 14X serving as a reference for X-axis direction position control during exposure of the wafer stages WS1, WS2 is fixed to one side (left side in FIG. 44) surface of the projection optical system PL in the X-direction. Similarly, a Y fixed mirror 14Y serving as a reference for Y-axis direction position control during exposure of the wafer stages WS1, WS2 is fixed to one side (rear side of the sheet face of FIG. 44) surface of the projection optical system PL in the Y-direction (see FIG. 46).

On the bottom surface of each of the wafer stages WS1, WS2, a gas static pressure bearing (not shown) is provided. By these gas static pressure bearings, the wafer stages WS1, WS2 are supported floatingly above the base 12 with a clearance of about several microns kept between them and the upper surface of the base 12. One side (left side in FIG. 44) surface in the X-axis direction of each of the wafer stages WS1, WS2, and one side (rear side of the sheet face in FIG. 44) surface in the Y-axis direction of each of the wafer stages WS1, WS2 are mirror finished to form reflecting surfaces that function as moving mirrors for reflecting a measuring beam from the interferometer system 26.

Onto the bottom surfaces of the wafer stages WS1, WS2, magnets are fixed. Under an electromagnetic force generated by driving coils (not shown) embedded in predetermined ranges of the base (concretely, a predetermined region near a site below the projection optical system PL, and a predetermined region near a site below the alignment microscope WA), the wafer stages WS1, WS2 are moved on the base 12 in the two-dimensional direction XY. That is, the magnets on the bottom surfaces of the wafer stages WS1, WS2 and the driving coils embedded in the base 12 constitute a so-called moving magnet type linear motor as driving means for the wafer stages WS1, WS2. The driving current of the driving coils of this linear motor is controlled by the main controller 28.

On the wafer stages WS1, WS2, wafers W are held by vacuum suction or the like via wafer holders (not shown). Onto the wafer stages WS1, WS2, too, reference mark plates FM1, FM2 whose surface is as high as the surface of the wafer W are fixed. On the surface of the reference mark plate FM1, as shown in the plan view of FIG. 45, a mark WM for measurement with a wafer alignment microscope WA to be described later on is formed at the center in the longitudinal direction of the surface. On both sides of the mark WM in the longitudinal direction, a pair of marks RM are formed for use in measuring the relative positional relation with the reticle R via the projection optical system PL. On the other reference mark plate FM2, exactly the same marks WM, RM are formed.

In the instant embodiment, moreover, an off-axis alignment microscope WA as an alignment system for detecting a position detecting mark (alignment mark) formed on the wafer W is provided at a predetermined distance of, say, 3,000 mm from the objection optical system PL in a direction at an angle of nearly 45° to the XY axis. The wafer W has level differences formed by exposure and processing for the previous layers. They include position detecting marks (alignment marks) for measurement of the positions of shot areas on the wafer. These alignment marks are measured by the alignment microscope WA.

The alignment microscope WA used here is an FIA (field image alignment) type alignment microscope relying on image processing. According to this microscope, illumination light emitted from a light source (not shown) which produces broad band illumination light, such as a halogen lamp, is cast on the wafer W (or the reference mark plate FM) after passing an objective lens (not shown). Reflected light from a wafer mark region (not shown) on the surface of the wafer W passes sequentially through the objective lens and an indicator plate (not shown), forming an image of the wafer mark and an image of the indicator on the indicator plate on an imaging surface

of a CCD or the like (not shown). Photoelectric conversion signals of these images are processed by a signal processing circuit (not shown) in a signal processing unit 160. The relative positional relation between the wafer mark and the indicator is calculated by a computing circuit (not shown), and this relative positional relation is conveyed to the main controller 28. The main controller 28 calculates the position of the alignment mark on the wafer W on the basis of the relative positional relation and the measured values of the interferometer system 26.

To one side (left side in FIG. 44) surface of the alignment microscope WA in the X-axis direction, an X fixed mirror 18X is fixed for serving as a reference for position control in the X-axis direction during the alignment action of the wafer stages WS1, WS2. Similarly, to one side (rear side of the sheet face of FIG. 44) surface of the alignment microscope WA in the Y-axis direction, a Y fixed mirror 18Y is fixed for serving as a reference for position control in the Y-axis direction during the exposure action of the wafer stages WS1, WS2.

Available as the alignment microscope are not only the FIA type, but other optical alignment devices such as LIA (laser interferometric alignment) or LSA (laser step alignment) devices, other optical devices such as a phase contrast microscope and a differential interference microscope, and non-optical devices such as STM (scanning tunnel microscope) for detecting the atomic-level irregularities of the surface of a specimen by utilizing the tunnel effect, and AFM (atomic force microscope) for detecting the atomic- and molecular-level irregularities of the surface of a specimen by utilizing atomic force (gravity, repulsion).

In the projection exposure apparatus 100 of the instant embodiment, reticle alignment microscopes 52A, 52B as mark detecting system for simultaneously observing an image of the reference mark RM on the reference mark plate FM and a reticle alignment mark (not shown) on the reticle R through the projection optical system PL are provided above the reticle R. Detection signals S1, S2 from the reticle alignment microscopes 52A, 52B are supplied to the main controller 28. In this case, deflecting mirrors 54A, 54B for guiding detection light from the reticle R to the reticle alignment microscopes 52A, 52B are unitized integrally with the relevant reticle alignment microscopes 52A, 52B to constitute a pair of microscope units 56A, 56B. Upon start of an exposure sequence, these microscope units 56A, 56B are retreated by a mirror driving device (not shown) to positions beyond the reticle pattern surface under a command from the main controller 28.

Next, the interferometer system 26 of FIG. 44 which manages the positions of the wafer stages WS1, WS2 will be described in detail. This interferometer system 26, actually, is composed of a first laser interferometer 26Xe for X-axis direction position measurement, a second laser interferometer 26Ye for Y-axis direction position measurement, a third laser interferometer 26Xa for X-axis direction position measurement, and a fourth laser interferometer 26Ya for Y-axis direction position measurement, as illustrated in FIG. 46. These components are representatively shown in FIG. 44 as the interferometer system 26.

The first laser interferometer 26Xe projects onto the X fixed mirror 14X a reference beam  $X_{e1}$  in the X-axis direction that passes through the center of projection of the projection optical system PL. The first laser interferometer 26Xe also projects a measuring beam  $X_{e2}$  onto the reflecting surface of the wafer stage (WS1 or WS2). Reflected light waves from these two beams are superposed into one for interference. Based on this interference state, the displacement of the reflecting surface of the wafer stage relative to the fixed mirror 14X is measured.

The second laser interferometer 26Ye projects onto the Y fixed mirror 14Y a reference beam  $Y_{e1}$  in the Y-axis direction that passes through the center of projection of the projection optical system PL. The second laser interferometer 26Ye also projects a measuring beam  $Y_{e2}$  onto the reflecting surface of the wafer stage (WS1 or WS2). Reflected light waves from these two beams are superposed into one for interference. Based on this interference state, the displacement of the reflecting surface of the wafer stage relative to the fixed mirror 14Y is measured.

The third laser interferometer 26Xa projects onto the X fixed mirror 18X a reference beam  $X_{a1}$  in the X-axis direction that passes through the center of detection of the alignment microscope WA. The third laser interferometer 26Xa also projects a measuring beam  $X_{a2}$  onto the reflecting surface of the wafer stage (WS1 or WS2). Reflected light waves from these two beams are superposed into one for interference. Based on this interference state, the displacement of the reflecting surface of the wafer stage relative to the fixed mirror 18X is measured.

The fourth laser interferometer 26Ya projects onto the Y fixed mirror 18Y a reference beam  $Y_{a1}$  in the Y-axis direction that passes through the center of detection of the alignment microscope WA. The fourth laser interferometer 26Ya also projects a measuring beam  $Y_{a2}$  onto the reflecting surface of the wafer stage (WS1 or WS2). Reflected light waves from these two beams are superposed into one for interference.

Based on this interference state, the displacement of the reflecting surface of the wafer stage relative to the fixed mirror 18Y is measured.

Here, the measuring axis of the first laser interferometer 26Xe that consists of the reference beam  $X_{e1}$  and the measuring beam  $X_{e2}$  is called the first measuring axis Xe. The measuring axis of the second laser interferometer 26Ye that consists of the reference beam  $Y_{e1}$  and the measuring beam  $Y_{e2}$  is called the second measuring axis Ye. The measuring axis of the third laser interferometer 26Xa that consists of the reference beam  $X_{a1}$  and the measuring beam  $X_{a2}$  is called the third measuring axis Xa. The measuring axis of the fourth laser interferometer 26Ya that consists of the reference beam  $Y_{a1}$  and the measuring beam  $Y_{a2}$  is called the fourth measuring axis Ya. The first measuring axis Xe and the second measuring axis Ye intersect each other perpendicularly at In the center of projection of the projection optical system PL (consistent with the center of the optical axis Ae), while the third measuring axis Xa and the fourth measuring axis Ya intersect each other perpendicularly at the center of detection of the alignment microscope WA. Because of this constitution, the position of the wafer stage can be measured precisely in the direction of each measuring axis, without Abbe's error due to yawing or the like of the wafer stage, both during measurement of the position detecting mark on the wafer W (alignment mark) and during exposure of the wafer W with the pattern. To raise the accuracy of measurement, it is more desirable to use two-frequency heterodyne interferometers as the above first to fourth laser interferometers.

Returning to FIG. 44, the measured values of the interferometer system 26 are supplied to the main controller 28. The main controller 28 controls the positions of the wafer stages WS1, WS2 via the aforementioned linear motors while monitoring the measured values of the interferometer system 26.

As clear also from FIG. 46, the instant fifth embodiment is constructed such that during the exposure of the wafer W on the wafer stage WS1 or WS2 with the reticle pattern through the projection optical system PL, the position of the wafer stage is managed by the second laser interferometers 26Xe, 26Ye. During the measurement of the position detecting mark on the wafer W (alignment mark) by the alignment microscope WA, on the other hand, the position of the wafer stage is managed by the third and fourth laser interferometers 26Xa, 26Ya. After completion of the exposure, or after completion of the alignment mark measurement, however, each measuring axis does not hit the reflecting surface of each wafer stage. Thus, the positional control of the wafer stage by the interference system 26 becomes difficult.



The projection exposure apparatus 100 of the instant embodiment, therefore, has a first robot arm 201 as a moving device for freely moving the wafer stage WS1 among three locations, i.e., a third position indicated by a virtual line in FIG. 46, a second position indicated by a solid line in FIG. 46, and a first position at which the wafer stage WS2 is located in FIG. 46; and a second robot arm 221 as a moving device for freely moving the wafer stage WS2 similarly among the three locations, the first position, the second position and the third position. These first and second robot arms 201, 221 are also controlled by the main controller 28, and the wafer stage position control accuracy of these first and second robot arms 201, 221 is generally about  $+1\ \mu\text{m}$ . As these robot arms 201, 221, articulated robot arms of a known structure are used, and their detailed description is omitted. To realize that position control accuracy without fail, upward/downward moving pins as illustrated by the numerals 24A, 24B in FIG. 46 may be provided as stoppers.

A brief explanation for the third, second and first positions will be offered here. The third position refers to a wafer replacement position at which the wafer W is passed on between a carrier arm 500 constituting part of an external substrate carrier mechanism and the wafer stage (WS1, WS2). The second position refers to a position at which the alignment of the wafer W on the wafer stage is performed after loading of the wafer W is completed, and also an arbitrary position at which the third measuring axis Xa and the fourth measuring axis Ya both hit the reflecting surfaces of the wafer stage. The first position refers to a position at which the exposure of the wafer W on the wafer stage is performed after alignment of the wafer is completed, and also an arbitrary position at which the first measuring axis Xe and the second measuring axis Ye both hit the reflecting surfaces of the wafer stage.

In the instant embodiment, as described above, the positions illustrated in FIG. 46 are determined as the first, second and third positions. However, the second position may be any position if it satisfies the above-mentioned definition. For example, a position at which the mark WM on the reference mark plate FM rests in the detection area of the alignment microscope WA may be set as the second position. Likewise, the first position may be any position if it satisfies the above-mentioned definition. For example, a position at which the mark RM on the reference mark plate FM rests in the projection area of the projection optical system PL may be set as the first position.

The following is an explanation for the overall flow of actions of the projection exposure apparatus 100 of the instant embodiment constructed as stated above.



(1) Assume that the wafer stage WS1 lies at the third position, while the wafer stage WS2 lies at the first position. First of all, wafer replacement is performed between the wafer stage WS1 and the carrier arm 500. This wafer replacement is carried out by a center lifting (wafer lifting) mechanism above the wafer stage WS1 and the carrier arm 500 as done in the above-mentioned embodiment. Thus, a detailed description is omitted. As stated previously, the positioning accuracy of a robot arm is generally about  $\pm 1 \mu\text{m}$  or less, so that the positioning accuracy of the carrier arm 500 is also comparable to this value. Prior to this wafer replacement, the wafer W has roughly been positioned by a prealignment device (not shown) in the directions of X, Y and  $\theta$ . Thus, its position of loading on the wafer stage does not deviate markedly. The loading position of the wafer W relative to the reference mark plate FM1, for example, is within the error of  $\pm 1 \mu\text{m}$  or less.

During the wafer replacement, the wafer stage WS1 is not position-controlled by a laser interferometer. However, the first robot arm 201 grasps the wafer stage WS1, so that the disadvantage of the wafer stage WS1 wandering about does not occur. During the grasp by the first robot arm 201, the linear motor that drives the wafer stage WS1 is at a halt (the same holds in the following description).

Upon completion of wafer replacement (loading of the wafer W onto the wafer stage WS1), the main controller 28 controls the first robot arm 201 to move the wafer stage WS1 to the second position indicated by the solid line in FIG. 46. At this position, the main controller 28 resets the third and fourth laser interferometers 26Xa, 26Ya simultaneously. Upon completion of this resetting, the first robot arm 201 finishes its role. Thus, the first robot arm 201 is retreated, away from the wafer stage WS1, by a drive system (not shown) to a non-interfering position in accordance with a command from the main controller 28.

After resetting of the third and fourth laser interferometers 26Xa, 26Ya is completed, the main controller 28 controls the wafer stage WS1 via the aforementioned linear motor, while monitoring the measured values of the interferometers 26Xa, 26Ya, so that the mark WM on the reference mark plate FM1 on the wafer stage WS1 is positioned in the detection area of the alignment microscope WA. The accuracy of positioning to the second position by the first robot arm 201 can be generally about  $\pm 1 \mu\text{m}$  or less, as stated earlier. Since the interferometric measuring axes have been reset at this second position, position control can be performed afterwards with a resolving power of about  $0.01 \mu\text{m}$  on the basis of the design value (the relative positional relation in design between the reflecting surface of the wafer stage WS1 and the mark WM on the reference mark

plate). As a result, the wafer stage WS1 is positioned with sufficient accuracy for measurement of the mark WM by the alignment microscope WA. When the second position is set at a position at which the mark WM on the reference mark plate FM1 on the wafer stage WS1 is positioned in the detection area of the alignment microscope WA, the movement of the wafer stage WS1 after resetting of the interferometers is not necessary. This is more desirable from the aspect of throughput.

Then, the alignment microscope WA measures the position of the mark WM ( $\Delta W_X, \Delta W_Y$ ) on the reference mark plate FM1 relative to the center of detection (center of indicator) of the alignment microscope WA. The main controller 28 obtains the average values ( $X_0, Y_0$ ) of the measured values of the third and fourth laser interferometers 26Xa, 26Ya during this measurement. The outcome shows that when the measured values of the laser interferometers 26Xa, 26Ya show ( $X_0 - \Delta W_X, Y_0 - \Delta W_Y$ ) the mark WM on the reference mark plate FM1 lies directly below the center of detection (center of indicator) of the alignment microscope WA. A series of actions of the third and fourth laser interferometers 26Xa, 26Ya will be called W-SET in the following description.

While wafer replacement, interferometer resetting, and a series of actions of the W-SET are being performed on the one wafer stage, WS1, in the above manner, the actions described below are carried out on the other wafer stage, WS2.

That is, the wafer stage WS2 is moved to the first position by the second robot arm 221 as described previously. The control for positioning to the first position is also performed with an accuracy of  $\pm 1 \mu\text{m}$  or less. At the same time that the movement of the wafer stage WS2 to the first position is completed, the main controller 28 resets the first and second laser interferometers 26Xe, 26Ye.

Upon completion of this resetting by the first and second laser interferometers 26Xe, 26Ye, the second robot arm 221 finishes its role. Thus, the second robot arm 221 is retreated, away from the wafer stage WS2, by a drive system (not shown) to a non-interfering position in accordance with a command from the main controller 28.

Then, the main controller 28 controls the position of the wafer stage WS2 via the linear motor, while monitoring the measured values of the laser interferometers 26Xe, 26Ye, so that the mark RM on the reference mark plate FM2 is positioned at a position at which it overlaps via the projection optical system PL the reticle alignment mark (not shown) formed on the reticle R in the projection area of the projection

optical system. In this case, the accuracy of positioning to the first position by the second robot arm 22 can be generally about  $\pm 1 \mu\text{m}$  or less, as stated earlier. Since the interferometric measuring axes have been reset at this first position, position control can be performed afterwards with a resolving power of about  $0.01 \mu\text{m}$  on the basis of the design values (the relative positional relation in design between the reflecting surfaces of the wafer stage WS2 and the marks RM on the reference mark plate FM2). As a result, the wafer stage WS2 is positioned with necessary and sufficient accuracy for the simultaneous observation of the reticle alignment mark and the mark RM on the reference mark plate FM by the reticle alignment microscopes 52A, 52B.

Then, the reticle alignment microscopes 52A, 52B measure the relative spacings ( $\Delta R_X$ ,  $\Delta R_Y$ ) between the reticle alignment mark on the reticle R and the mark RM on the reference mark plate FM2, namely, the positional deviations ( $\Delta R_X$ ,  $\Delta R_Y$ ) of the center of the reference mark RM as the reference point on the wafer stage WS2 from the center of projection of the pattern image of the reticle R as the predetermined reference point in the projection area of the projection optical system PL. The main controller 28 takes in these measured values of the reticle alignment microscopes 52A, 52B, and simultaneously read the measured values ( $X_1$ ,  $Y_1$ ) of the laser interferometers 26Xe, 26Ye. The results show that the positions at which the measured values of the laser interferometers 26Xe, 26Ye become ( $X_1 - \Delta R_X$ ,  $Y_1 - \Delta R_Y$ ) are the positions at which the reticle alignment mark and the mark RM on the reference mark plate FM2 just overlap each other via the projection optical system PL. This series of actions after resetting of the first and second laser interferometers 26Xe, 26Ye will be called R-SET in the following description.

(2) Then, wafer alignment on the wafer stage WS1 side and exposure on the wafer stage WS2 side are performed in parallel. After resetting of the third and fourth laser interferometers 26Xa, 26Ya, the position of the wafer stage WS1 is managed based on the measured values of the laser interferometers 26Xa, 26Ya. The main controller 28 measures the positions of the position detecting marks (alignment marks) for predetermined specific sample shots among a plurality of shot areas on the wafer W. The main controller 28 measures these positions on the ( $X_a$ ,  $Y_a$ ) coordinate system based on output from the alignment microscope WA, by moving the wafer stage WS1 sequentially via the linear motor, while monitoring the measured values of the interferometers 26Ya, 26Xa. In this case, the measured values of the interferometers ( $X_0 - \Delta X$ ,  $Y_0 - \Delta Y$ ) when the mark WM on the reference mark plate FM1 comes directly below the center of detection of the alignment microscope WA have been obtained. Based on these values and the design values for the relative positions

of each alignment mark to the reference mark WM, it is determined by computation what the measured values of the laser interferometers 26Ya, 26Xa should be in order to position each alignment mark on the wafer W in the detection area of the wafer alignment microscope WA, and what position the wafer stage WS1 should be moved to in order to achieve those values. Based on the results of these computations, the wafer stage WS1 is moved sequentially.

To position the wafer W in the directions of X, Y and  $\theta$ , it suffices to measure, at least, two X measurement marks and one Y measurement mark (or one X measurement mark and two Y measurement marks). Here, three or more X measurement marks not on a straight line, and three or more Y measurement marks not on a straight line should be measured as EGA sample shots.

The measured alignment mark (wafer mark) positions of the respective sample shots and the data on arrangement of the designed shot areas are used to perform statistical calculation by the least-squares method as disclosed in Japanese Laid-Open Patent Publication No. 61-44429, corresponding to U.S. Pat. No. 4,780,617, thereby obtaining all data on the arrangement of the plurality of shot areas on the wafer W. However, it is desirable to subtract from the results of calculation the aforementioned value of the interferometers ( $X_0 - \Delta_X$ ,  $Y_0 - \Delta_Y$ ), which is obtained when the mark WM on the reference mark plate FM1 comes directly below the center of detection of the alignment microscope WA, so as to convert into data relative to the reference mark WA on the reference mark plate FM1. This measure gives a necessary and sufficient knowledge of the relative positional relation between the mark WM on the reference mark plate FM1 and the reference point of each shot area on the wafer W.

In parallel with the fine alignment (EGA) on the wafer stage WS1 side, superposed exposure of the pattern image of the reticle R and a known pattern of shot areas on the wafer W is performed on the wafer stage WS2 side in the following manner.

That is, the main controller 28 positions each shot area on the wafer W in the exposure position, while monitoring the measured values of the interferometers 26Ye, 26Xe, based on the results of measurement of the positional deviations, the coordinate position ( $X_e$ ,  $Y_e$ ) of the wafer stage WS2 at that time, and the coordinate data on the arranged shots relative to the reference mark WA on the reference mark plate FM2 calculated in the same way as in the alignment action. Performing this positioning, the main controller 28 exposes the wafer W with the reticle pattern sequentially in the step-and-repeat manner, while controlling the opening and closing of the shutter in the

illumination optical system. Here, high precision superposition is possible although the interferometers 26Xe, 26Ye are reset (the measuring axes of the interferometers are interrupted) prior to the exposure of the wafer W on the wafer stage WS2. Detailed reasons for this are as follows: The spacing between the mark WM and the mark RM on the reference mark plate FM2 is known. As a result of fine alignment (EGA) performed previously, the relative positional relation between the mark WM on the reference mark plate FM2 and the reference point of each shot area on the wafer W has been calculated in the same manner as described earlier. Also, it has been measured where on the wafer stage WS2 the reticle alignment mark on the reticle R is situated (namely, what is the relative positional relation between the center of projection of the pattern image of the reticle (almost consistent with the center of projection of the projection optical system PL) as the predetermined reference point in the projection area of the projection optical system PL and the mark RM as the reference point on the wafer stage WS2). Based on the results of these measurements, it is clear what measured values of the first and second laser interferometers 26Xe, 26Ye result in the exact superposition of the pattern image of the reticle R with each shot area on the wafer W.

(3) In the foregoing manner, fine alignment (EGA) is completed on the wafer stage WS1 side, while exposure with the reticle pattern for all the shot areas on the wafer W is completed on the wafer stage WS2 side. Then, the wafer stage WS1 is moved to the first position below the projection optical system PL, while the wafer stage WS2 is moved to the third position, the position of wafer replacement.

In detail, the wafer stage WS1 is grasped by the first robot arm 201 and moved to the first position in accordance with an instruction from the main controller 28. The control for positioning to the first position is performed with an accuracy of  $\pm 1$   $\mu\text{m}$  or less. Simultaneously with the completion of movement of the wafer stage WS1 to the first position, the main controller 28 resets the first and second laser interferometers 26Xe, 26Ye.

Upon completion of this resetting, the first robot arm 201 finishes its role. Thus, the first robot arm 201 is retreated, away from the wafer stage WS1, by the drive system (not shown) to a non-interfering position in accordance with an instruction from the main controller 28.

Then, the main controller 28 carries out R-SET in the same manner as for the wafer stage WS2 side stated earlier. This step results in the measurement of the relative spacings ( $\Delta R_x$ ,  $\Delta R_y$ ) between the reticle alignment mark and the mark RM on



the reference mark plate FM1, namely, the positional deviations ( $\Delta R_x$ ,  $\Delta R_y$ ) of the center of the reference mark RM as the reference point on the wafer stage WS2 from the center of projection of the pattern image of the reticle R as the predetermined reference point in the projection area of the projection optical system PL, as well as the stage coordinate position ( $X_1$ ,  $Y_1$ ) at the time of measuring the positional deviations.

While the interferometer resetting and the R-SET are being performed on the wafer stage WS1 side in the above manner, the second robot arm 221 grasps the wafer stage WS2, whose exposure action has been completed, in accordance with an instruction from the main controller 28. The second robot arm 22 moves this wafer stage WS2 to the wafer passing-on position (third position) for wafer replacement. Then, wafer replacement, interferometer resetting and W-SET are performed in the same manner as on the wafer stage WS1 side that has been mentioned previously.

(4) Then, the main controller 28, as stated earlier, controls the actions of the wafer stages WS1 and WS2 so that fine alignment (EGA) is performed on the wafer stage WS2 side, while the wafer W is sequentially exposed with the reticle pattern by the step-and-repeat method on the wafer stage WS1 side in parallel with EGA.

(5) Thereafter, the main controller 28 controls the actions of the stages WS1, WS2 and the actions of the first and second robot arms so that the actions of 1 to 4 explained above will be repeated in sequence.

A flow of the above-described parallel actions taking place on the two stages, WS1 and WS2, is illustrated in FIG. 47.

As described above, the projection exposure apparatus 100 related to the fifth embodiment can perform an exposure action on one of the wafer stage WS1 and the wafer stage WS2, and a fine alignment action on the other stage in parallel. Thus, throughput can be expected to improve markedly in comparison with earlier technologies by which wafer replacement (including search alignment), fine alignment and exposure were performed sequentially. This is because a fine alignment action and an exposure action account for a high proportion of the time required for an exposure sequence.

The above embodiment also makes it a precondition that the measuring axes of the interferometer system 26 are interrupted. Thus, it suffices for the reflecting surface (a moving mirror, if any) of each wafer stage to be slightly longer than the



wafer diameter. Compared with earlier technologies requiring uninterrupted measuring axes, therefore, the wafer stage can be compact and light-weight, so that an improvement in stage controlling performance can be expected.

The embodiment, moreover, makes it a precondition that the measuring axes of the interferometer system are interrupted, and the position of the mark on the reference mark plate FM on the stage is measured each before alignment and exposure. Thus, it produces no disadvantage however long the center distance (baseline amount) between the center of projection of the projection optical system PL and the center of detection of the alignment microscope WA will be. By providing a somewhat large spacing between the projection optical system PL and the alignment microscope WA, wafer alignment and exposure can be performed in a time-parallel manner, with no interference between the wafer stage WS1 and the wafer stage WS2.

In the above embodiment, furthermore, the interferometer system 26 has the first measuring axis  $X_e$  and the second measuring axis  $Y_e$  intersecting perpendicularly at the center of projection of the projection optical system PL, and the third measuring axis  $X_a$  and the fourth measuring axis  $Y_a$  intersecting perpendicularly at the center of detection of the alignment system WA. Thus, the two-dimensional position of the wafer stage can be managed accurately both during an alignment action and during exposure.

In addition, the fixed mirrors 14X, 14Y, 18X, 18Y for interferometers are fixed to the side surfaces of the projection optical system PL and the side surfaces of the alignment microscope WA. Unless the positions of the fixed mirrors change during alignment and exposure, therefore, disadvantages, such as a fall in the position control accuracy of the wafer stage, will not emerge, even if the positions of the fixed mirrors change owing to changes over time or vibrations of the apparatus. Thus, constructing the alignment microscope WA so as to be movable upward and downward would not cause any disadvantage.

The foregoing fifth embodiment has been described such that the wafer stages WS1 and WS2 are moved by the first and second robot arms 201, 221 among three locations, i.e., the first, second and third positions. However, the present invention is in no way limited to this constitution. If the wafer is replaced at the second position, for example, the wafer stages WS1 and WS2 may be moved by the first and second robot arms 201, 221 between the first and second positions. In this case, the main controller 28 controls the actions of the wafer stages WS1 and WS2 so that an exposure action for the wafer W on one of these stages and an alignment action for the

wafer W on the other stage are performed in parallel. Then, the main controller 28 causes the first and second robot arms 201, 221 to interchange the positions of both stages.

The fifth embodiment has also been described such that step-and-repeat type exposure is performed for the wafer W on the stage on the basis of EGA. However, the present invention is in no way limited to this constitution, and the pattern image of the reticle may be projected sequentially onto each shot area on the wafer W with alignment and exposure being repeated die by die. In this case, the relative position of each alignment mark relative to the mark WM formed on the reference mark plate FM on the stage is measured during alignment. Thus, the reticle pattern image can be superimposed on each shot area based on this relative position in the same manner as described above. Such a die-by-die method is desirably adopted when the number of the shot areas on the wafer W is small. If the number of the shot areas is large, the aforementioned EGA method is desirable from the point of view of preventing a decrease in throughput.

The fifth embodiment has also been described such that the first robot arm 201 moves one stage, WS1, among three locations, i.e., the first, second and third positions, while the second robot arm 221 moves the other stage, WS2, among the three locations, i.e., the first, second and third positions. However, the present invention is in no way limited to this constitution. It is permissible, for example, to employ a method by which one robot arm 201 carries the stage WS1 (or WS2) to a position other than the first, second or third position and frees it there during its carriage from the first position to the third position, while the other robot arm 221 moves this stage WS1 (or WS2) from this position to the third position. This makes it possible to use one robot arm 201 exclusively for carriage between the second and first positions of both stages, and use the other robot arm 221 exclusively for carriage between the third and second positions of both stages.

Also, each laser interferometer constituting the interferometer system 26 may be a multi-axis interferometer which can measure not only the rectilinear positions of the wafer stage in the X- and Y-direction, but also its yawing or pitching.

#### [Sixth Embodiment]

Next, the sixth embodiment of the present invention will be described with reference to FIG. 48. The constituent parts identical with or comparable to those in the fifth embodiment will be assigned the same numerals or symbols, and their explanations will be omitted.

The sixth embodiment is characterized in that a wafer stage WS1 is constituted to be divisible into two parts, i.e., a stage body WS1a and a substrate holding member WS1b detachably mounted on the stage body WS1a and having the same shape as the stage body WS1a; and that likewise, a wafer stage WS2 is constituted to be divisible into two parts, i.e., a stage body WS2a and a substrate holding member WS2b detachably mounted on the stage body WS2a and having the same shape as the stage body WS2a.

On the substrate holding members WS1b, WS2b, the wafer W is held by suction via a wafer holder (not shown). Reflecting surfaces functioning as moving mirrors for an interferometer are formed on the side surfaces thereof. On these substrate holding members WS1b, WS2b, reference mark plates FM1, FM2 are provided, respectively, on their upper surfaces.

In this sixth embodiment, parallel processes are performed on the wafer stages WS1, WS2 in practically the same manner as in the aforementioned fifth embodiment. At a time when an alignment action is completed on one stage side, and an exposure action is completed on the other stage side, the main controller 28 controls a first and a second robot arm 201, 221. As a result, the substrate holding member WS1b (or WS2b) on the alignment-completed stage side is carried (moved) onto the stage body WS2a that has stopped at the first position. In parallel, the substrate holding member WS2b (or WS1b) on the exposure-completed stage side is carried onto the stage body WS1a that has stopped at the second position. In this manner, the substrate holding members WS1b, WS2b are replaced. During replacement of the substrate holding members WS1b, WS2b, the measuring axes of an interferometer system 26 are interrupted, making the position control of the wafer stages WS1, WS2 impossible. During this period, stage stoppers 30a, 30b appear and hold the stage bodies WS1a, WS2a in place. In this case, wafer replacement is performed at the second position by a carrier arm (not shown).

In the instant sixth embodiment, as will be easily imagined from FIG. 48, the position at which the mark WM on the reference mark plate FM lies in the detection area of the alignment microscope WA is determined as the second position; whereas the position at which the mark RM on the reference mark plate FM lies in the projection area of the projection optical system PL is determined as the first position. Thus, the main controller 28 carries out the movement of the substrate holding members WS1b, WS2b onto the stage bodies, resetting of the measuring axes of the interferometer system 26, and the R-SET or W-SET.

The sixth embodiment can obtain comparable effects to those by the fifth embodiment. The sixth embodiment has been described such that the first and second robot arms 201, 221 move the substrate holding member between the first and second positions. However, as in the first embodiment, the first and second robot arms 201, 221 may move the substrate holding member among three locations, i.e., the first, second and third positions. In this case, wafer replacement can be performed at a site unrelated to the projection optical system PL or the alignment microscope WA. Hence, even if the working distance below the alignment microscope WA is narrow, for example, there are none of disadvantages such that the alignment microscope WA impedes wafer replacement.

The fifth and sixth embodiments have been described such that robot arms or stage stoppers are used as measures during the interruption of the measuring axes of the interferometer system 26. The present invention is not limited to this constitution. For instance, a two-dimensional grating may be formed on the lower surface of the wafer stage, so that the position can be read by an optical encoder from below the stage travel surface. Alternatively, there may be employed means capable of precisely moving the stage to a next position once the interferometer measuring axes are interrupted, or means capable of holding the stage body at a predetermined position while stopping it there.

The fifth and sixth embodiments have also been described such that two wafer stages movable independently are provided. However, three or more wafer stages which are movable independently may be provided. If three wafer stages are provided, an exposure action, an alignment action, and a wafer flatness measuring action, for example, can be performed in parallel. There may be a plurality of the projection optical systems PL and alignment microscopes WA. If a plurality of the projection optical systems PL are present, an alignment action and two different patterns of exposure actions can be performed in parallel. This is suitable for double exposure or the like.

The above embodiments have been illustrated in which the present invention was applied to a step-and-repeat projection exposure apparatus. However, the range of application of this invention is not restricted to this constitution. This invention is applicable not only to a step-and-scan projection exposure apparatus, but to other types of exposure apparatuses, such as an electron beam direct drawing device.

#### Possibilities for Industrial Application

As explained above, according to the projection exposure apparatus and the projection exposure method of the invention, it is possible to further improve the throughput. According to the projection exposure apparatus and the projection exposure method of the invention, an excellent effect, which has not been obtained in the conventional technique, is obtained in that it is possible to improve the throughput, miniaturize the substrate stage, and reduce the weight of the substrate stage. According to the projection exposure apparatus and the projection exposure method of the invention, it is possible to further improve the throughput and avoid any mutual influence of disturbance between two substrate stages.

According to the projection exposure apparatus and the projection exposure method of the invention, it is possible to further improve the throughput and avoid any mutual interference between the two substrate stages. According to the exposure method of the invention, it is possible to improve throughput and determine the size of the substrate stage regardless of the baseline amount. According to the exposure apparatus of the invention, it is possible to improve throughput by the parallel execution of an exposure action on one substrate stage and an alignment action on the other substrate stage.

According to the projection exposure apparatus and the projection exposure method of the invention, it is possible to perform the highly accurate focus/leveling control while further improving the throughput. According to the projection exposure method of the invention, it is possible to perform the highly accurate focus/leveling control while further improving the throughput, even in the case of the use of EGA in which the positional adjustment is performed with respect to the mask on the basis of the arrangement of the sample shot areas. According to the projection exposure apparatus of the invention, it is possible to perform the highly accurate focus/leveling control while improving the throughput, by using, as the pre-measurement data for the focus control, the focus information on those located at the inside which could not be subjected to pre-measurement when the shot areas located in the vicinity of the outer circumference of the sensitive substrate are exposed.

According to the scanning exposure method of the invention, it is possible to perform the highly accurate focus/leveling control while further improving the throughput. Therefore, the exposure apparatus and the exposure method of the invention are extremely suitable for producing semiconductor elements and liquid crystal display elements by means of the photolithography process.



### Scope of Patent Claims

1. An exposure apparatus for exposing a plurality of areas divided on a sensitive substrate respectively with a predetermined pattern, the exposure apparatus comprising:

a plurality of stages, each holding a sensitive substrate thereon, while moving independently between a positional information measuring section, in which positional information of the respective divided areas on the sensitive substrate are measured, and an exposure section, wherein each stage has a reference mark for determining a relative position of each divided area on the sensitive substrate on the stage, and the alignment of each divided area on the sensitive substrate is performed in the exposure section using the relative position of each divided area with respect to the reference mark measured in the positional information measuring section.

2. The exposure apparatus according to claim 1, comprising: a plurality of measuring system for measuring position of the stage positioned on the positional information measuring section and on the exposure section, wherein the measuring system independently measures the stage position only in one section.

3. The exposure apparatus according to claim 1 or 2, further comprising: positional information detecting systems in the positional information measuring section and the exposing section, respectively, wherein the positional information detecting systems measure or determine the position of each divided area of the sensitive substrate with respect to the reference mark.

4. The exposure apparatus according to any one of claims 1 to 3, further comprising: a storing apparatus for storing positional information of each divided area on the sensitive substrate which has been determined in the positional information measuring section.

5. The exposure apparatus according to claim 4, which is a step-and-scan type projection exposure apparatus.

6. A projection exposure apparatus for exposing a sensitive substrate by projecting a pattern formed on a mask through a projection optical system onto the sensitive substrates, comprising:

a first substrate stage which is movable on a two-dimensional plane while holding a sensitive substrate, the first substrate stage having a reference mark formed thereon;



a second substrate stage which is movable independently from the first substrate stage on the same plane as that for the first substrate stage while holding a sensitive substrate, the second substrate stage having a reference mark formed thereon;

at least one mark detecting system provided apart from the projection optical system, for detecting reference mark on the substrate stage or a mark on the sensitive substrate held on the substrate stage; and

a controller for controlling operations of the both stages so that one of the first and second substrate stages performs a mark-detecting operation effected by the mark detecting system, while the other stage performs an exposure operation.

7. The projection exposure apparatus according to claim 6, further comprising: a transport system for delivering the sensitive substrate with respect to the first and second substrate stages,

wherein the controller controls the operations of the both stages so that one of the substrate stages performs the delivery of the sensitive substrate with respect to the transport system and the mark-detecting operation effected by the mark detecting system, during which the other stage performs the exposure operation effected by the projection optical system.

8. The projection exposure apparatus according to claim 7, wherein the mark detecting systems are arranged on both sides of the projection optical system along a predetermined direction, and the controller is operated such that the reference mark on the first substrate stage or the mark on the sensitive substrate held on the first substrate stage is detected by using the one mark detecting system and the reference mark on the second substrate stage or the mark on the sensitive substrate held on the second substrate stage is detected by using the other mark detecting system.

9. A projection exposure method for exposing a sensitive substrate by projecting a pattern formed on a mask through a projection optical system onto the sensitive substrates, comprising the steps of:

preparing two substrate stages each of which is movable independently on a two-dimensional plane while holding a sensitive substrate; and

performing, by using one stage of the two substrate stages, at least one of an exchange operation for the sensitive substrate and a detecting operation for a mark on the one stage or on the sensitive substrate held on the one stage, while executing an exposure operation for the sensitive substrate by using the other stage of the two substrate stages.

10. The projection exposure method according to claim 9, wherein the operations of the two substrate stages are changed to one another at a point of time of completion of the operations of the two substrate stages.

11. A method for exposing a sensitive substrate by projecting a pattern formed on a mask through a projection optical system onto the sensitive substrates, comprising the steps of:

- preparing two substrate stages independently movable in the same plane while each holding a sensitive substrate;

- exposing the sensitive substrate held on one of the two substrate stages with the pattern image of the mask through the projection optical system;

- measuring the positional relation between an alignment mark on the sensitive substrate held on the other of the two substrate stages and a reference point on the other stage during exposure of the sensitive substrate held on the one substrate stage;

- detecting the positional deviation of the reference point on the other substrate stage from a predetermined reference point in a projection area of the projection optical system and the coordinate position of the other substrate stage, with the reference point on the other substrate stage being positioned in the projection area, after completion of exposure of the sensitive substrate held on the one substrate stage; and

- controlling the movement of the other substrate stage on the basis of the detected positional relation, the detected positional deviation and the detected coordinate position to perform alignment between the sensitive substrate held on the other stage and the pattern image of the mask

12. A projection exposure apparatus for exposing a sensitive substrate by projecting a pattern through a projection optical system onto the sensitive substrates, comprising:

- a first substrate stage, on which a reference mark is formed, moving in a two-dimensional plane while holding a sensitive substrate;

- a second substrate stage, on which a reference mark is formed, moving in the same plane in which the first substrate stage moves independently of the first substrate stage while holding a sensitive substrate;

- a mark detecting system, provided apart from the projection optical system, for detecting the reference mark on the substrate stage or a mark on the sensitive substrate held on the stage;

- an interferometer system for measuring the two-dimensional positions of the first substrate stage and the second substrate stage;

- a moving device for moving each stage between a predetermined first position in a stage moving range during exposure during which the sensitive substrate held on

the stage is exposed through the projection optical system, and a predetermined second position in a stage moving range during mark detecting during which the mark on the stage or the mark on the sensitive substrate held on the stage is detected by the mark-detecting system; and

a controller for controlling the actions of the first substrate stage and the second substrate stage while monitoring the measured values of the interferometer system so that during exposure of the sensitive substrate held on one of the first substrate stage and the second substrate stage, a mark detecting action by the mark detecting system is performed on the other of the first substrate stage and the second substrate stage, and then controlling the moving device to interchange the positions of the one substrate stage and the other substrate stage.

13. The projection exposure apparatus according to claim 12, wherein the interferometer system has the first measuring axis and the second measuring axis intersecting each other perpendicularly at the center of projection of the projection optical system, and the third measuring axis and the fourth measuring axis intersecting each other perpendicularly at the center of detection of the mark detecting system, and the controller resets the measuring axes of the interferometer system in interchanging the positions of the one stage and the other stage.

14. An exposure apparatus for exposing a sensitive substrates by projecting a pattern on the sensitive substrate through a projection optical system comprising:

a first substrate stage, on which a reference mark is formed, for moving in a two-dimensional plane while holding a sensitive substrate;

a second substrate stage, on which a reference mark is formed, for moving in the same plane in which the first substrate stage independently of the first substrate stage while holding a sensitive substrate;

a mark detecting system provided apart from the projection optical system, for detecting the reference mark formed on the substrate stage or an alignment mark on the sensitive substrate held on the stage;

an interferometer system for measuring the two-dimensional positions of the first substrate stage and the second substrate stage;

a moving device for moving each stage among three locations, i.e., a predetermined first position in a stage moving range during exposure during which the sensitive substrate held on the stage is exposed through the projection optical system, a predetermined second position in a stage moving range during alignment during which the mark on the stage or the mark on the sensitive substrate held on the stage is detected by the mark detecting system, and a third position at which the

sensitive substrate is passed on between the stage and an external substrate carrier mechanism; and

a controller for controlling the first and second substrate stages and the moving device so that while the position of one of the first and second substrate stages is being managed by the interferometer system and the sensitive substrate held on the one stage is being exposed with the pattern through the projection optical system, the replacement of the sensitive substrate, and an alignment action for measuring the positional relation between the alignment mark on the sensitive substrate and a reference mark on the other stage based on the results of detection by the mark detecting system and the measured values by the interferometer system are sequentially performed on the other of the first and second substrate stages, and for controlling the two stages and the moving device so that after the actions on the two stages are both completed, the actions to be performed on the two stages are interchanged.

15. The exposure apparatus according to claim 14, further comprising: a mask with the pattern formed thereon, wherein the pattern image formed on the mask via the projection optical system is projected onto the sensitive substrates on the first substrate stage and the second substrate stage.

16. The exposure apparatus according to claim 15, wherein the interferometer system has a first measuring axis and a second measuring axis intersecting each other perpendicularly at the center of projection of the projection optical system, and a third measuring axis and a fourth measuring axis intersecting each other perpendicularly at the center of detection of the mark detecting system, and the controller resets the first and second measuring axes of the interferometer system in moving each of the two stages to the first position, and resets the third and fourth measuring axes of the interferometer system in moving each of the two stages to the second position.

17. The exposure apparatus according to claim 16, further comprising: a mark position detector for detecting the relative positional relation between the center of projection of the pattern image of the mask formed by the projection optical system and the reference mark on the stage via the mask and the projection optical system.

18. The exposure apparatus according to any one of claims 12 to 17, wherein each of the substrate stages have a stage body, and a substrate holding member detachably mounted on the body for holding the substrate, a reflecting surface for an interferometer is provided on the side surface of the substrate holding member, and a reference mark is formed on the upper surface of the substrate holding member,

wherein the moving device moves the substrate holding member among the respective locations instead of the substrate stage.

19. The exposure apparatus according to any one of claims 12 to 18, wherein the moving device is composed of a robot arm.

20. The exposure apparatus according to any one of claims 12 to 19, wherein fixed mirrors serving as a reference for measurement by the interferometer are attached to the projection optical system and the mark detecting system, respectively.

21. The exposure apparatus according to any one of claims 12 to 20, further comprising: at least one other substrate stage movable independently of the two substrate stages in the same plane as for these stages while holding a sensitive substrate, in addition to the first substrate stage and the second substrate stage.

22. A projection exposure apparatus for exposing a plurality of shot areas divided on a sensitive substrate by projecting an image of a pattern formed on a mask via a projection optical system onto each of the shot areas, comprising:

- a first substrate stage which is movable on a two-dimensional plane while holding a sensitive substrate;

- a second substrate stage which is movable independently from the first substrate stage on the same plane as that for the first substrate stage while holding a sensitive substrate;

- a positional information detecting system for detecting the positional information of at least one shot area of the sensitive substrate held on the substrate stage provided apart from the projection optical system;

- substrate-driving systems provided for the first substrate stage and the second substrate stage respectively, for adjusting surface positions of the sensitive substrates held on the stages; and

- a controller for controlling the two stages so that a positional information detecting operation based on the use of the positional information detecting system is performed for one stage of the first substrate stage and the second substrate stage, during which an exposure operation based on the use of the projection optical system is performed for the other of the stages, thereafter controlling one of the stages so that the exposure operation based on the use of the projection optical system is performed for the one of the stages, and controlling the substrate-driving system for the one of the stages to perform an alignment of the shot area in exposure, using information on a surface position of the shot area resulted from the positional information detection.



23. The projection exposure apparatus according to claim 22, wherein the positional information detecting system comprises at least one alignment system for measuring a mark on the sensitive substrate held on the substrate stage and a first detecting system for detecting positional information of a surface of the sensitive substrate during measurement operation of the mark based on the use of the alignment system.

24. The projection exposure apparatus according to claim 23, further comprising: a second detecting system for detecting positional information of a surface of the sensitive substrate during exposure operation based on the use of the projection optical system, wherein the controller controls the two stages so that the detection by using the positional information detecting system for one of the stages of the first substrate stage and the second substrate stage is performed, during which the exposure operation based on the use of the projection optical system is performed for the other of the stages, and then controls the one of the stages so that the exposure operation based on the use of the projection optical system is performed for the one of the stages, while controlling the substrate-driving system for the one stage on the basis of the detection result obtained by using the first detecting system during the mark-measuring operation for the one stage and the detection result obtained by using the second detecting system during the exposure operation for the one stage to perform an alignment in the exposure of the shot area.

25. The projection exposure apparatus according to claim 24, which is a scanning type projection exposure apparatus for exposing sensitive substrates with an image of a pattern formed on a mask by moving the sensitive substrate in a scanning direction with respect to an exposure area which is conjugate to an illumination area illuminated with an illumination light beam, in synchronization with movement of the mask in the scanning direction with respect to the illumination area, wherein the controller controls the two stages so that the detection by using the positional information detecting system for one stage of the first substrate stage and the second substrate stage is performed, during which the exposure operation based on the use of the projection optical system is performed for the other of the stages, and then, when the one stage is controlled so that the exposure operation based on the use of the projection optical system is performed for the one stage, upon exposure for shot areas in the vicinity of outer circumference which are set to be subjected to scanning from the outside to the inside of the sensitive substrate with respect to the exposure area, of a plurality of shot areas on the sensitive substrate held on the one of the stages, the controller controls the substrate-driving system on the basis of a detection result obtained by using the first detecting system during detecting the positional information of the one stage and a detection result obtained by using the second



detecting system during the exposure operation for the one stage, and the controller controls the substrate-driving system for the one stage by using only the detection result obtained by using the second detecting system upon exposure for the other shot areas than the shot areas in the vicinity of outer circumstance to perform an alignment in the exposure of the shot area.

26. A projection exposure method for exposing sensitive substrates with an image of a pattern formed on a mask via a projection optical system, comprising the steps of:

- preparing two substrate stages which is movable independently on an identical two-dimensional plane while each holding a sensitive substrate;

- measuring positional information of at least one shot area on the sensitive substrate held on one stage of the two stages;

- exposing the sensitive substrate held on the other stage of the two stages with the image of the pattern formed on the mask during the period in which the measuring operation for the positional information is performed for the one of the stages;

- and exposing the sensitive substrate held on the one of the stages, after completion of the exposure operation performed for the other of the stages, while adjusting a surface position of the sensitive substrate held on the one of the stages on the basis of the measured positional information.

27. The projection exposure method according to claim 26, wherein the positional information of the shot areas includes alignment information of the shot areas and plane positional information of the shot areas.

28. The projection exposure method according to claim 27, wherein the plane positional information of the shot areas is measured as the relative position with respect to the predetermined reference plane of the sensitive substrate.

29. A projection exposure apparatus for exposing a sensitive substrate by projecting an image of a pattern formed on a mask via a projection optical system onto the sensitive substrates, comprising:

- a first substrate stage on which a reference mark is formed, for moving in a two-dimensional plane while holding a sensitive substrate;

- a second substrate stage on which a reference mark is formed, for moving in the same plane as for the first substrate stage independently of the first substrate stage while holding a sensitive substrate;

- at least one a mark detecting system provided apart from the projection optical system, for detecting the reference mark on the substrate stage or an alignment mark-on the sensitive substrate held on the substrate stage; and

an interferometer system provided with a first length-measuring axis for measuring a position of the first substrate stage in a direction of a first axis from one side in the direction of the first axis passing through a projection center of the projection optical system and a detection center of the mark detecting system, a second length-measuring axis for measuring a position of the second substrate stage in the direction of the first axis from the other side in the direction of the first axis, a third length-measuring axis which perpendicularly intersects the first axis at the projection center of the projection optical system, and a fourth length-measuring axis which perpendicularly intersects the first axis at the detection center of the mark detecting system, the interferometer system measuring two-dimensional positions of the first and second substrate stages respectively by using the length-measuring axes.

30. The projection exposure apparatus according to claim 29, further comprising: a controller for controlling the first substrate stage and the second substrate stage, so that a position of one stage of the first substrate stage and the second substrate stage is managed based on the use of a measured value obtained by using the third length-measuring axis of the interferometer system, while exposing the sensitive substrate on the one stage, during which a positional relationship between an alignment mark on the sensitive substrate held on the other stage and a reference mark on the other stage is obtained based on the use of a detection result obtained by using the mark detecting system and a measured value obtained by using the fourth length-measuring axis of the interferometer system, and after exposing the one sensitive substrate, a position of the other stage is measured by using the third length-measuring axis, while a relative positional relationship between the reference mark on the other stage and a predetermined reference point within a projection area of the projection optical system is obtained.

31. The projection exposure apparatus according to claim 30, wherein the interferometer of the third length-measuring axes is reset when the other stage is moved to a position at which the relative positional relationship between the reference mark on the other stage and the predetermined reference point within the projection area of the projection optical system.

32. The projection exposure apparatus according to claim 30, further comprising: another mark detecting system having a detection center on the first axis, disposed on a side opposite to the mark detecting system with respect to the projection optical system,

wherein the interferometer system is further provided with a fifth length-measuring axis which perpendicularly intersects the first axis at a detection center of the another mark detecting system; and

the controller controls the first and the second stage for managing the position of the one substrate stage based on the use of the measured value obtained by the third length-measuring axis of the interferometer system, while exposing the sensitive substrate held on the one stage during which the positional relationship between the alignment mark on the sensitive substrate held on the other stage and the reference mark on the other stage is obtained based on the use of the detection result obtained by using the mark detecting system and the measured value obtained by using the fourth length-measuring axis of the interferometer system, and, after exposing the one stage, moving the one stage so that, the reference mark on the one stage is positioned within the another mark detecting system while the position of the one stage is measured based on the use of the measured value obtained by using the fifth length-measuring axis.

33. The projection exposure apparatus according to claim 32, wherein the interferometer of the fifth length-measuring axes is reset when the one stage is moved so that the reference mark of the one stage is positioned within the detection area of the another mark detecting system.

34. The projection exposure apparatus according to claim 32, further comprising: a transport system for receiving and transmitting the sensitive substrate between the first substrate stage and the second substrate stage,

wherein the controller controls the one stage so as to position the reference mark thereon within the detection area of the another mark detecting system, and at the position, the substrate is received and transmitted between the one stage and the transport system.

35. The projection exposure apparatus according to claim 30, wherein the predetermined reference point within the projection area of the projection optical system is the projection center for the image of the pattern formed on the mask, and the projection exposure apparatus further comprises a mark position-detector for detecting a relative positional relationship between the projection center for the image of the pattern formed on the mask and reference marks on the stage, via the mask and the projection optical system.

36. The projection exposure apparatus according to claim 29, the mark detecting systems are disposed on one side and the other side of the projection optical system in the direction of the first axis.

37. The projection exposure apparatus according to claim 29, further comprising: a controller for controlling movement of the first and second substrate stages on the basis of a result of measurement performed by the interferometer system so that each of the first and second substrate stages is capable of performing an exposure operation effected by the projection optical system and a mark-detecting operation effected by the mark detecting system.

38. The projection exposure apparatus according to claim 37, wherein the controller changes the third length-measuring axis and the fourth length-measuring axis of the interferometer system between detection of the mark effected by the mark detecting system and exposure effected by the projection optical system for the first and second substrate stages respectively.

39. A method for exposing sensitive substrates by projecting an image of a pattern on a mask via a projection optical system onto the sensitive substrates, comprising the steps of:

- using two substrate stages each of which is movable independently on an identical plane while each holding a sensitive substrate;

- measuring a position of one stage of the two stages by using a first interferometer, while exposing the sensitive substrate held on the one stage;

- measuring the position of the other stage by using a second interferometer during exposure for the substrate held on the one stage, while measuring a positional relationship between an alignment mark on the substrate held on the other stage and a reference mark on the other stage;

- moving the other stage to a position at which a positional relationship between the reference mark on the other stage and a predetermined reference point within a projection area of the projection optical system is obtained, after completion of the exposure for the substrate on the one stage; and

- performing alignment for the sensitive substrate held on the other stage and the image of the pattern on the mask, by using the first interferometer, on the basis of the relationship between the alignment mark on the substrate held on the other stage and the reference mark on the other stage, and a relationship between the reference mark on the other stage and the predetermined reference point within the projection area of the projection optical system.

40. A projection exposure apparatus for exposing a sensitive substrate by projecting an image of a pattern formed on a mask via a projection optical system onto the sensitive substrates, comprising:

- a first substrate stage which is movable on a two-dimensional plane while holding a sensitive substrate;

- a second substrate stage which is movable independently from the first substrate stage on the same plane as that for the first substrate stage while holding a sensitive substrate;

- a transport system for delivering the sensitive substrate with respect to the first and second substrate stages; and

- a controller for controlling operations of the both stages so that one stage of the first and second substrate stages performs delivery of the sensitive substrate with respect to the transport system, during which the other stage performs an exposure operation.

41. The projection exposure apparatus according to claim 6, 29 or 40, further comprising:

- a mask stage which is capable of simultaneously carrying a plurality of masks; and

- a driving system for driving the mask stage so that any of the masks is selectively set at an exposure position.

42. The projection exposure apparatus according to claim 6, 29, 40 or 41, wherein the mask is carried on the mask stage which is movable in a predetermined direction, and the projection exposure apparatus further comprises a stage controller for exposing the sensitive substrate by projection with the pattern formed on the mask, while synchronously moving the mask stage with respect to any one of the first and second substrate stages.

43. A projection exposure apparatus for exposing sensitive substrates by projecting an image of a pattern formed on a mask via a projection optical system onto the sensitive substrates, comprising:

- a first substrate stage which is movable on a two-dimensional plane while holding a sensitive substrate;

- a second substrate stage which is movable independently from the first substrate stage on the same plane as that for the first substrate stage while holding a sensitive substrate;

- an interferometer system for measuring two-dimensional positions of the first substrate stage and the second substrate stage respectively;



a storing device which stores an interference condition for the interferometer system to be used when the first substrate stage and the second substrate stage cause interference with each other; and

a controller for controlling movement of the both stages to cause no interference with each other while monitoring a measured value obtained by the interferometer system on the basis of the interference condition stored in the storing device.

44. The projection exposure apparatus according to claim 43, further comprising:

an alignment system provided apart from the projection optical system, for detecting a reference mark on the substrate stage or a mark on the sensitive substrate held on the substrate stage; and

a transport system for delivering the sensitive substrate with respect to the first substrate stage and the second substrate stage,

wherein the controller controls the two substrate stages so that one stage of the substrate stages performs at least one operation of a mark-detecting operation performed by the alignment system and a sensitive substrate-delivering operation with respect to the transport system, while a measured value obtained by using the interferometer system is monitored, on the basis of the interference condition, during which the other stage is subjected to an exposure operation performed by using the projection optical system, and when the controller controls such that when the both stages come to positions to cause interference with each other, the stage of the both stages, which takes a longer time until completion of the operation, is preferentially moved until the both stages are in a positional relationship of no interference, during which the stage, which takes a shorter time until completion of the operation, is allowed to wait.

45. A projection exposure apparatus for exposing sensitive substrates by projecting an image of a pattern formed on a mask via a projection optical system onto the sensitive substrates, comprising:

a first substrate stage, on which a reference mark is formed, moving on a two-dimensional plane while holding a sensitive substrate;

a second substrate stage, on which a reference mark is formed, for moving independently from the first substrate stage on the same plane as that for the first substrate stage while holding a sensitive substrate;

an alignment system provided apart from the projection optical system, for detecting the reference mark on the substrate stage or a mark on the sensitive substrate held on the substrate stage; and

a controller for controlling the two stages so that a mark-detecting operation is performed by the alignment system for the sensitive substrate held on one stage of the



first substrate stage and the second substrate stage, concurrently with which an exposure operation is performed for the sensitive substrate held on the other stage, while an operation, which is included in the mark-detecting operation to be performed on the one stage and which affects the other stage, is performed in synchronization with an operation which is included in the exposure operation to be performed on the other stage and which affects the one stage, and for controlling the operations of the two substrate stages so that operations, which are included in the respective operations to be performed on the first substrate stage and the second substrate stage and which make no influence with each other, are performed in synchronization with each other.

46. The projection exposure apparatus according to claim 45, wherein the controller controls so that the one stage is stationarily rested to measure the reference mark on the one stage or the mark on the sensitive substrate held on the one stage during a period for exposing, by projection, the sensitive substrate held on the other substrate stage with the image of the pattern formed on the mask.

47. The projection exposure apparatus according to claim 45, wherein the controller controls so that one substrate stage is moved for detecting the next mark in synchronization with movement of the other substrate stage for the next exposure.

48. The projection exposure apparatus according to claim 45, further comprising:

a mask stage which is movable in a predetermined direction while carrying the mask, and a scanning system for synchronously scanning the mask stage and the first substrate stage or the second substrate stage with respect to the projection optical system,

wherein the controller stationarily rests the one stage to measure the mark on the one stage or the mark on the sensitive substrate held on the one stage during movement of the other substrate stage at a constant velocity in synchronization with the mask stage.

49. The projection exposure apparatus according to claim 45, further comprising:

a transport system for delivering the sensitive substrate with respect to the first substrate stage and the second substrate stage respectively,

wherein the controller controls operations of the two substrate stages so that the one substrate stage performs at least one of the mark-detecting operation and a sensitive substrate-delivering operation with respect to the transport system, concurrently with which the exposure operation is performed for the sensitive substrate held on the other stage, while an operation, which is included in the delivering operation and the mark-detecting operation to be performed on the one

substrate stage and which affects the other stage, is performed in synchronization with the operation which is included in the exposure operation to be performed on the other stage and which affects the one stage, and the controller controls the operations of the two substrate stages so that the operations, which are included in the respective operations to be performed on the first substrate stage and the second substrate stage and which make no influence with each other, are performed in synchronization with each other.

50. The projection exposure apparatus according to claim 45 or 49, wherein the alignment systems are arranged on both sides of the projection optical system in a predetermined direction; and

the controller changes the operations of the both stages when the operations of the both of the first substrate stage and the second substrate stage are completed.

51. A projection exposure method for exposing sensitive substrates by projecting an image of a pattern formed on a mask via a projection optical system onto the sensitive substrates, comprising the steps of:

preparing two substrate stages, each of which moves independently on a two-dimensional plane while holding a sensitive substrate, each stage having a reference mark formed thereon; and

exposing, by projection, the sensitive substrate held on one of the stages with the image of the pattern formed on the mask, while stationarily resting the other stage to detect the reference mark on the other stage or a mark on the sensitive substrate held on the other stage.

52. A projection exposure method for exposing sensitive substrates by projecting an image of a pattern formed on a mask via a projection optical system onto the sensitive substrates, comprising the steps of:

preparing two substrate stages, each of which moves independently on a two-dimensional plane while holding a sensitive substrate, each stage having a reference mark formed thereon; and

successively exposing, by projection, a plurality of portions on the sensitive substrate held on one stage of the two substrate stages with the image of the pattern formed on the mask, and successively detecting a plurality of marks on the sensitive substrate held on the other stage concurrently therewith, while determining an order of the detection of the marks on the sensitive substrate held on the other stage so that the two substrate stages cause no interference with each other.

53. A scanning type projection exposure apparatus for exposing a sensitive substrate with an image of a pattern formed on a mask by moving the sensitive substrate in a scanning direction with respect to an exposure area which is conjugate to an illumination area illuminated with an illumination light beam, in synchronization with movement of the mask in the scanning direction with respect to the illumination area, the projection exposure apparatus comprising:

- a substrate stage which is movable on a two-dimensional plane while holding the sensitive substrate;

- a position-detecting system including detecting areas having a width, in a non-scanning direction perpendicular to a scanning direction, which is wider than that of an exposure area, on one side and the other side in the scanning direction with respect to the exposure area, for detecting a relative position of a surface of the sensitive substrate with respect to a predetermined reference plane at least at one of a plurality of detecting points set in the respective detecting areas along the non-scanning direction;

- a substrate-driving system provided on the substrate stage, which adjusts a surface position of the sensitive substrate held on the stage; and

- a controller which controls the substrate-driving system on the basis of detection result obtained by using the position-detecting system, upon exposure for the sensitive substrate held on the substrate stage.

54. The projection exposure apparatus according to claim 53, wherein the controller controls the substrate-driving system on the basis of at least one detection result for the plurality of detecting points in the detecting area set on a front side of the exposure area in relation to the scanning direction for the sensitive substrate, of the detection results obtained by using the position-detecting systems.

55. The projection exposure apparatus according to claim 53, wherein when shot areas in the vicinity of outer circumference of the sensitive substrate are subjected scanning exposure from the outside to the inside of the sensitive substrate, the controller starts control for the substrate-driving system for adjusting the surface position of the sensitive substrate on the basis of a detection result for a detecting point which overlaps the sensitive substrate, from a point of time at which at least one of the plurality of detecting points overlaps an effective area on the sensitive substrate.

56. The projection exposure apparatus according to claim 53, wherein when shot areas in the vicinity of outer circumference of the sensitive substrate are subjected scanning exposure, if only one detecting point overlaps the shot area, then the controller adjusts

an inclination of the sensitive substrate by the aid of the substrate-driving system on the basis of a predetermined fixed value.

57. The projection exposure apparatus according to claim 53, wherein when shot areas in the vicinity of outer circumference of the sensitive substrate are subjected scanning exposure, if only one detecting point overlaps the shot area, then the controller adjusts an inclination of the sensitive substrate by the aid of the substrate-driving system on the basis of a detection result for the only one detecting point and a detection result for another detecting point which overlaps a shot area adjacent to the shot area overlapped by the one detecting point.

58. The projection exposure apparatus according to claim 54, wherein the controller previously determines whether a detection result of what detecting point included in the plurality of detecting points is used for each of the plurality of shot areas on the sensitive substrate, and when a certain shot area on the sensitive substrate is subjected to scanning exposure, the controller adjusts the surface position of the sensitive substrate by the aid of the substrate-driving system by using only the detection result for the detecting point determined for the shot area.

59. The projection exposure apparatus according to claim 55, wherein the effective area on the sensitive substrate is disposed inside a prohibition zone defined over an entire surface of the sensitive substrate or at a circumferential edge portion of the sensitive substrate.

60. The projection exposure apparatus according to claim 55, wherein the controller judges whether or not any detecting point for the position-detecting system overlaps the effective area on the sensitive substrate, on the basis of positional information on outer circumference of the sensitive substrate, positional information on the respective detecting points for the position-detecting system, and positional information on the shot area to be subjected to exposure.

61. The projection exposure apparatus according to claim 55, wherein the controller judges whether or not any of the detecting points for the position-detecting system overlaps the effective area on the sensitive substrate by comparing a predetermined allowable value with the detection results for the plurality of detecting points for the position-detecting system.

62. The projection exposure apparatus according to claim 56 or 57, wherein when the shot area in the vicinity of the outer circumference of the sensitive substrate is

subjected scanning exposure, the controller starts, from a point of time at which a plurality of detecting points overlap the shot area, adjustment for the inclination of the sensitive substrate on the basis of only the detection results for the detecting points which overlap the shot area, by the aid of the substrate-driving system.

63. The projection exposure apparatus according to claim 57 or 58, wherein the controller judges whether or not any detecting point for the position-detecting system overlaps the shot area, on the basis of positional information on outer circumference of the sensitive substrate, positional information on the respective detecting points for the position-detecting system, and positional information on the shot area to be subjected to exposure.

64. The projection exposure apparatus according to claim 58, wherein when the shot area in the vicinity of the outer circumference of the sensitive substrate is subjected to scanning exposure, if only one detecting point overlaps the shot area, then the controller starts adjustment for the inclination of the sensitive substrate by the aid of the substrate-driving system on the basis of detection results for a predetermined number of detecting points including the only one detecting point and at least one detecting point adjacent thereto, and then the detecting point to be used for the adjustment for the inclination is successively shifted toward the inside of the shot area.

65. A scanning exposure method for exposing a sensitive substrate with an image of a pattern formed on a mask by moving the sensitive substrate in a scanning direction with respect to an exposure area which is conjugate to an illumination area illuminated with an illumination light beam, in synchronization with movement of the mask in the scanning direction with respect to the illumination area, the scanning exposure method comprising the steps of:

- projecting a plurality of slit images onto a surface of the sensitive substrate in a direction inclined by a predetermined angle so that the plurality of slit images are arranged along a non-scanning direction in detecting areas having a width in the non-scanning direction perpendicular to the scanning direction wider than that of an exposure area and disposed on one side and the other side in the scanning direction with respect to the exposure area, during scanning exposure for the sensitive substrate;

- receiving reflected light beams of the respective slit images coming from the sensitive substrate;

- calculating, on the basis of photoelectrically converted signals thereof, relative positions on the surface of the sensitive substrate with respect to a predetermined



reference plane at respective detecting points onto which the slit images are projected respectively; and

adjusting a surface position of the sensitive substrate in the exposure area on the basis of a result of the calculation.

66. A projection exposure method for exposing a plurality of shot areas on a sensitive substrate respectively with an image of a pattern formed on a mask via a projection optical system by moving the sensitive substrate in a scanning direction with respect to an exposure area which is conjugate to an illumination area illuminated with an illumination light beam, in synchronization with movement of the mask in the scanning direction with respect to the illumination area, the projection exposure method comprising the steps of:

selecting some of the plurality of shot areas as sample shot areas so as to include shot areas in the vicinity of outer circumference which are set to be subjected to scanning from the outside to the inside of the sensitive substrate with respect to the exposure area;

measuring coordinate positions of the sample shot areas respectively;

detecting a relative position of the sensitive substrate with respect to a predetermined reference plane for each of the sample shot areas when the coordinate positions of the sample shot areas are measured;

determining an arrangement of the plurality of shot areas on the sensitive substrate on the basis of the measured coordinate positions of the sample shot areas; and

performing positional adjustment of the respective shot areas with respect to the image of the pattern on the mask on the basis of the determined arrangement of the shot areas while adjusting a surface position of the sensitive substrate on the basis of the relative position detected by measuring the coordinate positions, when exposure are performed for the respective shot areas in the vicinity of the outer circumference which are set to be subjected to scanning from the outside to the inside of the sensitive substrate with respect to the exposure area.

67. The projection exposure method according to claim 66, wherein the relative position of the sensitive substrate with respect to the predetermined reference plane is detected while moving the sensitive substrate in the same direction as that used during exposure upon the measurement of the coordinate positions of the shot areas in the vicinity of the outer circumference which are set to be subjected to scanning from the outside to the inside of the sensitive substrate with respect to the exposure area, of the sample shot areas.



FIG. 1

90: MAIN CONTROL UNIT

FIG. 5

90: MAIN CONTROL UNIT

FIG. 15

WAFER SURFACE POSITION  
TIME

FIG. 17

WAFER SURFACE POSITION  
TIME

FIG. 18

WAFER SURFACE POSITION  
TIME

FIG. 24

START

S2: OPERATION PERFORMED ON W1 IS NON-DISTURBANCE FACTOR  
OPERATION?

S4: OPERATION TO BE PERFORMED NEXT ON W2 IS NON-DISTURBANCE  
FACTOR OPERATION WHICH IS SIMULTANEOUSLY EXECUTABLE?

S6: EXECUTE SIMULTANEOUSLY NON-DISTURBANCE FACTOR  
OPERATION

S8: EXECUTE OPERATION ON W1 AND ALLOW PROCESSING OPERATION  
ON W2 TO WAIT

S10: COMPLETE NON-DISTURBANCE FACTOR OPERATIONS ON W1 AND  
W2

S12: NEXT PROCESSING OPERATION IS PRESENT?

S14: OPERATION TO BE PERFORMED NEXT ON W2 IS DISTURBANCE  
FACTOR OPERATION WHICH IS SIMULTANEOUSLY EXECUTABLE?

S16: EXECUTE SIMULTANEOUSLY DISTURBANCE FACTOR OPERATION

S18: EXECUTE OPERATION ON W1 AND ALLOW PROCESSING OPERATION  
ON W2 TO WAIT

S20: COMPLETE DISTURBANCE FACTOR OPERATIONS ON W1 AND W2  
END

FIG. 26

START

S34: TIME UNTIL COMPLETION OF THE OPERATION PERFORMED IS

WS1<WS2

S36: MOVE WS2 WHILE ALLOWING WS1 TO WAIT

S42: MOVE WS1 WHILE ALLOWING WS2 TO WAIT

S40: CANCEL WAITING STATE

S32: MOVE AND CONTROL INDEPENDENTLY WS1 AND WS2

S46: COMPLETE MOVING AND CONTROLLING OF STAGE

END

FIG. 29

90: MAIN CONTROL UNIT

FIG. 36

GROUP NAME

FIG. 40

PATTERN PROHIBITION ZONE

FIG. 41

INITIAL WAFER SURFACE POSITION

ALLOWABLE RANGE

TIME

FIG. 43

WAFER SURFACE POSITION

TIME

FIG. 44

28: MAIN CONTROLLER

FIG. 47

WAFER STAGE WS1

CHANGE WAFER

RESET INTERFEROMETER

WAFER ALIGNMENT

RESET INTERFEROMETER

EXPOSURE

CHANGE WAFER  
RESET INTERFEROMETER  
WAFER ALIGNMENT  
WAFER STAGE WS2  
RESET INTERFEROMETER  
EXPOSURE  
CHANGE WAFER  
RESET INTERFEROMETER  
WAFER ALIGNMENT  
RESET INTERFEROMETER  
EXPOSURE